

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ  
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОННИХ ПРИЛАДІВ ТА ПРИСТРОЇВ**

**До захисту допущено**  
Завідувач кафедри, проф., д.т.н.  
\_\_\_\_\_Л.Д.Писаренко

«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 р.

**ДИПЛОМНА РОБОТА**  
освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр»  
з напрямку підготовки **6.050802 – Електронні пристрої та системи**  
на тему « **Контролер параметрів технологічної рідини** »

**Виконав:**

Студент 4 курсу, групи ДЕ-351 **Грабовський Сергій Дмитрович** \_\_\_\_\_

**Керівник роботи:**

Доцент кафедри ЕП та П,  
к.т.н.

**Тугай Сергій Борисович**

**Чадюк Вячеслав Олексійович**

**Нормоконтроль:**

Доцент кафедри ЕП та П,  
к.т.н.

\_\_\_\_\_

**Рецензент:**

\_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цій бакалаврській роботі  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ-2019

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет \_\_\_\_\_ Е л е к т р о н і к и  
Кафедра \_\_\_\_\_ Електронні прилади та пристрої  
Напрямок підготовки 6.050802 - Електронні пристрої та системи .  
Програма професійного спрямування - Електронні прилади та пристрої

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри, проф., д.т.н.  
\_\_\_\_\_ Л.Д.Писаренко  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 р.

**ЗАВДАННЯ**

на дипломну роботу студенту  
**Грабовському Сергію Дмитровичу**

**1. Тема роботи: « Контролер параметрів технологічної рідини »**

і керівник роботи **Тугай Сергій Борисович**, доцент., к.т.н.

затверджені наказом по університету від « 27 » травня 2019 р. № 1406-с

**2. Термін подання студентом роботи: « 18 » червня 2019 р.**

**3. Вихідні дані до роботи:** Швидкість виявлення зниження потоку 30с; швидкість виявлення перевищення температурного рівня охолоджуючої рідини 15с; взаємозамінні датчики з легкими настройкою та адаптуванням; довільна кількість підключених до системи датчиків, але не більше 20 шт; розгалуження сітки датчиків не більше 50 метрів; виводити на графічний екран поточну інформацію про стан системи охолодження.

**4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:** Анотація; вступ; огляд науково-технічної літератури по схемо-технічним принципам побудови та функціонування датчиків потоку рідини; розробка принципових електричних схем блоків системи, їх розрахунок та обґрунтування вибору програмного забезпечення та обґрунтований вибір елементної бази для розробки системи контролю, висновки; перелік використаної науково-технічної літератури.

**5. Перелік графічного матеріалу:** складальне креслення датчика потоку, принципові електричні схеми блоку живлення, датчика та системи в цілому.

Студент гр. ДЕ-351	_____	С.Д. Грабовський
Керівник роботи	_____	С.Б. Тугай

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
**до дипломної роботи**

на тему: « Контролер параметрів технологічної рідини »

Київ – 2019

## **РЕФЕРАТ**

**Контролер параметрів технологічної рідини** / Дипломна робота освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр» напряму підготовки 6.050802–Електронні пристрої та системи. **Грабовський Сергій Дмитрович**. НТУУ «КПІ». Факультет електроніки, кафедра «Електронні прилади та пристрої». Група ДЕ-351. – К.: НТУУ «КПІ», 2019. – 60 ст., іл.22, табл.2.

**Ключові слова:** Датчик швидкості потоку, STM32F429, STM32CubeMX, цифровий термометр DS18B20, електромагнітний цифровий ізолятор ADuM, двох каналний адресований порт введення / виводу DS2413, UC3844, зворотньоходовий блок живлення (DC/DC).

**Короткий зміст роботи:** В даній дипломній роботі представлено огляд існуючих датчиків потоку.

Показано актуальність використання калориметричних датчиків для одночасного вимірювання і температури рідини і швидкості потоку.

Розроблена та розрахована схема електронна принципова: зворотньоходовий блок живлення, датчик потоку та температури, системи контролю загалом. Виконано огляд сучасних мікросхем та програмного забезпечення як конструктора так і програміста.

## **А Н О Т А Ц І Я**

Захист виробничого обладнання від виходу за рамки робочої температури є обов'язковою умовою стабільної роботи технологічного обладнання, зменшення частки браку продукції та ремонту чи заміни виробничого устаткування.

Одним з прикладів є контроль потоку охолоджуючої рідини в теплоємному процесі. Реєструється температура та сила потоку охолоджуючої рідини. При досягненні критичних значень зменшення швидкості потоку або при досягненні критично високих значень температури рідини, система повідомляє обслуговуючий персонал про можливі проблеми в охолоджуючій системі для уникнення перегріву обладнання та аварійних ситуацій.

Дипломний проект присвячений розробці системи контролю потоку та температури на основі калориметричного принципу. Даний підхід ідеально підходить для контролю охолоджувальних систем теплоємних виробництв. Адже одним датчиком можна вимірювати і швидкість і температуру потоку.

В даній дипломній роботі представлено огляд існуючих датчиків швидкості потоку, обґрунтовано використання калориметричного принципу в системі. Розроблені схеми електричних принципів блоків системи контролю потоку та температури, на сучасній елементній базі. Представлено розрахунки та описано алгоритм роботи системи.

## **S U M M A R Y**

Protection of production equipment from the outside of the operating temperature is a prerequisite for the stable operation of the process equipment, reducing the proportion of product defects and repair or replacement of production equipment.

One example is the control of the coolant duct in a heat-intensive process. The temperature and strength of the coolant flow are recorded. When critical drops are reached or when critical values of liquid temperature are reached, the system informs service personnel of possible problems in the cooling system to avoid overheating of equipment and emergency situations.

The diploma project is devoted to the development of a duct and temperature control system based on calorimetric principle. This approach is ideally suited for controlling cooling systems of heat-intensive industries. After all, one sensor can measure the velocity and temperature of the duct.

In this thesis the review of existing flow rate sensors is presented, the calorimetric principle in the system is substantiated. The electric circuit diagrams of the duct and temperature monitoring system blocks are developed on a modern element basis. The calculations are presented and the algorithm of system operation is described.

## ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів .	7
Вступ . . . . .	8
1. Огляд існуючих датчиків потоку . . . . .	10
1.1 Ультразвуковий датчик потоку . . . . .	11
1.2 Електромагнітний датчик потоку . . . . .	11
1.3 Роторний датчик потоку . . . . .	12
1.4 Вихровий датчик потоку . . . . .	14
1.5 Калориметричні датчики потоку . . . . .	15
Висновки . . . . .	18
2. Технічний опис системи . . . . .	19
2.1 Огляд мікроконтролерів . . . . .	22
2.2 Мікроконтролер STM32F429 . . . . .	24
2.3 Периферійні блоки контролера . . . . .	27
2.4 Графічний редактор STM32CubeMX. . . . .	29
2.5 LCD-TFT Controller . . . . .	32
2.6 Цифровий термометр DS18B20. . . . .	34
2.7 Протокол 1-Wire . . . . .	36
2.8 Комутатор DS2413. . . . .	39
2.9 Цифровий ізолятор ADuM1201. . . . .	40
Висновки . . . . .	42
3. Розрахунки системи . . . . .	43
3.1 Розрахунок блоку живлення . . . . .	43
3.2 Розрахунок трансформатора перетворювача . . . . .	46
3.3 Розрахунок теплових процесів. . . . .	52
3.4 Алгоритм роботи системи . . . . .	53
Висновки . . . . .	54
Література . . . . .	55

					<b>ЗБР6.050802.051.003</b>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Грабовський С.Д.			<b>Контролер параметрів Технологічної рідини</b>  <i>Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркуші</i>
<i>Перевір.</i>		Тугай С.Б.					5	
<i>Реценз.</i>						НТУУ «КПІ», ФЕЛ, ДЕ-351		
<i>Н. Контр.</i>		Чадюк В.О.						
<i>Затверд.</i>		Писаренко Л.Д.						

## **ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ**

MCU	– Micro Controller Unit (Мікроконтролер);
З І П	– запчастини, інструменти, приладдя
RAM	– Random Access Memory (пам'ять з довільним доступом);
ROM	– Read Only Memory (пам'ять постійного зберігання);
FPU	– Floating Point Unit (модуль операцій з рухомою комою);
DSP	– digital signal processor (процесор цифрової обробки сигналів);
MIPS	– Million instructions per second (мільйонів інструкцій в секунду);
RTC	– Real-time Clock (годинник реального часу );
MSPS	– Million Signal per second (мільйонів сигналів в секунду);
FIFO	– First in, First out («першим прийшов – першим пішов»);
PWM	– Pulse-width modulation (широтно-імпульсна модуляція);
GPIO	– General-purpose input/output (Інтерфейс введення/виведення загального призначення);
ADC	– Analog-to-digital converter (АЦП Аналого-цифровий перетворювач);
DAC	– Digital-to-analog converter (ЦАП Цифро-аналоговий перетворювач);
HAL	– Hardware Abstraction Layer (шар апаратного абстрагування);
IDE	– Integrated Development Environment (Інтегроване середовище розробки);
LSB	– least significant bit (найменш значущий біт, молодший біт);
MSB	– most significant bit (найбільш значущий біт, старший біт);
NVIC	– Nested Vectored Interrupt Controller (Контролер пріоритетних векторних переривань)
FMC	– Flexible Memory Controller (Гнучкий контролер пам'яті);
TFT	– Thin-Film Transistor (тонкоплівковий транзистор);



- LCD – Liquid Crystal Display (рідкокристалічний дисплей);
- DMA – Direct Memory Access (Технологія прямого доступу до пам'яті);
- LTDC – LCD-TFT display controller (контролер рідкокристалічного дисплею з активною матрицею, що керується тонкоплівковими транзисторами)
- КМОП – комплементарна структура метал-оксид-напівпровідник (англ. CMOS, Complementary-symmetry / metal-oxide semiconductor)

## ВСТУП

Основа будь-якого виробництва це контроль, реєстрація та керування у реальному часі технологічного процесу. Чим більше виробництво тим розгалуженіша та складніша система контролю. Система контролю технологічного процесу базується на обробці та збереженні, у реальному часі, інформації з багатьох різнотипних датчиків. Коли цих датчиків не два а двісті то відразу виникає потреба в систематизації та графічному відображенні даних.

Одним з прикладів є контроль потоку охолоджуючої рідини в теплоємному процесі. Реєструється температура та сила потоку охолоджуючої рідини. При досягненні критичних значень зменшення швидкості потоку або при досягненні критично високих значень температури рідини, система повідомляє обслуговуючий персонал про можливі проблеми в охолоджуючій системі для уникнення перегріву обладнання та аварійних ситуацій.

Захист виробничого обладнання від виходу за рамки робочої температури є обов'язковою умовою стабільної роботи технологічного обладнання, зменшення частки браку та ремонту чи заміни виробничого устаткування.

Завданням бакалаврської роботи є:

Розробка багатоканальної системи контролю потоку и температури охолоджуючої рідини.

Системи контролю потоку и температури має бути розрахована для застосування в системах охолодження діючих виробничих установок. Використання системи контролю потоку и температури повинно допомогти уникнути аварійних ситуацій на виробництві через несвоєчасне виявлення та усунення проблем в охолоджувальній системі.

Система повинна бути обладнана елементами світлової індикації безпосередньо на кожному датчику, звукова індикація та графічне відображення стану системи виводиться на рідкокристалічному дисплеї. Індикація вмикається при досягненні температурою охолоджуючої води заданого порогового значення і / або при зменшенні швидкості потоку нижче порогового значення.

Основою системи контролю протоку и температури буде калориметричний датчик на базі інтегральної мікросхеми вимірювача температури DS18B20 та двоканалний комутатор DS2413P фірми Dallas Semiconductor.

DS18B20 передає поточні значення температури, а DS2413P реалізує алгоритм вимірювання швидкості протоку та вказує локальне місце аварії.

Використовуючи протокол 1-Wire, калориметричний датчик передає поточні значення температури мікроконтролеру та приймає команди керування процесом вимірювання.

Логіка роботи системи контролю протоку охолоджуючої рідини буде реалізована на мікроконтролері STM32F4 на базі ядра ARM Cortex M4.

Вимоги до системи:

- Швидкість виявлення зниження протоку 30с
- Швидкість виявлення перевищення температурного рівня охолоджуючої рідини 15с
- Взаємозамінні датчики з легкими настройкою та адаптуванням
- Довільна кількість підключених до системи датчиків, але не більше 20 шт
- Розгалуження сітки датчиків не більше 50 метрів
- Виводити на графічний екран поточну інформацію про стан системи охолодження

## **1. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ДАТЧИКІВ ПРОТОКУ**

Датчик потоку призначений для вимірювання швидкості потоку речовини (рідина чи газ). Використовуючи датчик потоку будується витратомір, знаючи швидкість потоку та діаметр умовного проходу речовини вираховується об'єм.

Розрізняють механічні та електричні датчики.

Основні види датчиків потоку:

- Ультразвукові
- Електромагнітні
- Роторні
- Вихрові
- Калориметричні

### **1.1 Ультразвуковий датчик потоку**

Принцип дії ультразвукових датчиків сили потоку базується на властивостях акустичного ефекту, який виникає при передачі УЗ-імпульсів через потік рідини або газу. Електроакустичний випромінювач створює високочастотні звукові коливання(>20кГц), що проходять через середовище вимірювання та реєструються приймачем.

Найбільшого поширення в даний час отримали прилади, що використовують переміщення УЗ-коливань рухомих потоком.

Останнім часом ультразвукові витратоміри знайшли широке розповсюдження у промисловості завдяки таким перевагам як швидкодія, перешкодостійкість, висока точність, великий діапазон вимірювання, багатфункціональність, можливість застосування для будь-якої форми поперечного перерізу трубопроводу. Ультразвуковий метод вимірювання ґрунтується на явищі зміщення звукового коливання рідкого середовища, що

рухається. При цьому використовують найчастіше три способи. Перший спосіб побудований на вимірюванні різниці фазових зсувів двох ультразвукових коливань, направлених за потоком і проти нього. Ці прилади називають фазовими витратомірами. Інший спосіб побудований на вимірюванні різниці частот повторення коротких імпульсів чи пакетів ультразвукових коливань, направлених одночасно за потоком і проти нього. Ці прилади називають частотними витратомірами. Перевага останніх полягає у незалежності показань від швидкості розповсюдження у середовищі, тобто виключається вплив фізичних параметрів середовища (густина, температура) на результати вимірювання. І нарешті останній спосіб ґрунтується на акустичній локації рівня рідини у тому чи іншому відкритому каналі та у подальшому перерахуванні його у миттєве значення рівня і витрати. Ці прилади називають комбінованими витратомірами і можуть використовуватися лише для потоків рідини з атмосферним тиском

## 1.2 Електромагнітний датчик потоку

При протіканні електропровідного середовища у магнітному полі (вода це середовище з іонною провідністю – провідник другого роду) у ньому індукується електрорушійна сила (ЕРС)  $E$ , що пропорційна середній швидкості речовини  $V$  та індукції  $B$  магнітного поля

$$E = k B V l,$$

Де  $l$  – відстань між електродами,  $k$  – безрозмірний коефіцієнт, що задається фізичними і конструктивними параметрами датчика. Основний принцип дії датчика побудований на явищі електромагнітної індукції.

Оскільки площа  $S$  перерізу каналу та індукція  $B$  магнітного поля датчика величини фіксовані, значення індукованої ЕРС буде пропорційне об'ємній витраті  $Q$  потоку середовища, що вимірюється.

$$E = C Q,$$

де  $C = \frac{4kB}{\pi l^2}$  – постійний коефіцієнт перетворення витрати, який встановлюється під час градування датчика.

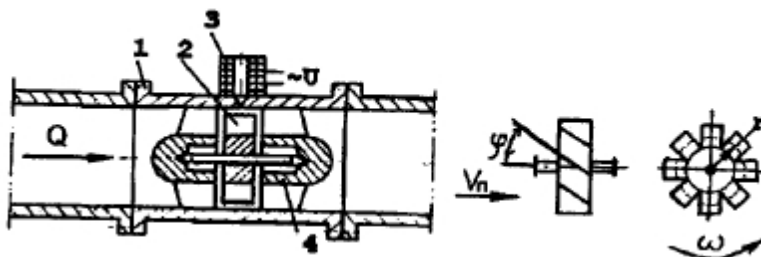
Застосовуються електромагнітні датчики швидкості потоку лише для рідин з електричною провідністю не менше  $10^{-3} \div 10^{-5}$  См/м і не більше 10 См/м (См Сіменс [1/Ом]- одиниця вимірювання електричної провідності).

Вони практично без інерційні, на результат вимірювань не впливає наявність завислих частин у рідині та пазирів газу. Показання датчика не залежать від властивостей контрольованої рідини (в'язкість, густина) і характеру потоку (ламінальний, турбулентний). Можна вимірювати швидкість агресивного середовища та рідин і паст з абразивними властивостями. Внаслідок лінійної залежності наведеної ЕРС – шкала приладу лінійна. Не має рухливих елементів та звужень.

До недоліків електромагнітних датчиків потоку слід віднести необхідність компенсації перешкод, які виникають при змінному полі у колі електродів, а також обставини неможливості вимірювання витрат газів і таких рідин, як мастила, бензин та інші нафтопродукти, внаслідок малої електропровідності. Неприпустимо застосовувати датчики поблизу електросилових установок, які випромінюють сильні електромагнітні поля (особливо промислових частот – 50 Гц). Для потоків рідини з завислими феромагнітними частинами, також не слід використовувати електромагнітні датчики.

### 1.3 Роторний (турбінний) датчик потоку

Розробка турбінного принципу вимірювання є результатом десятиліть інтенсивних інновацій і поліпшень первісного осьового лопаткового принципу лічильників, перші записи зафіксовані в 1790 році, в той час даний принцип застосовувався для вимірювання витрат води.



Мал. 1.1. Турбінка

Рідина проходить через корпус турбінного витратоміра під своєю силою змушує обертатися крильчатку, яка встановлена в осьовому напрямку. Лопасті ротора (крильчатки) розташовані під кутом, для перетворення енергії потоку в енергію обертання. Ротор обертається на підшипниках. Якщо рідина рухається швидше, ротор починає обертання пропорційно швидше. Швидкість обертання крильчатки сприймається індуктивним датчиком. Індуктивний датчик при кожному оберті крильчатки дає стільки вихідних електричних сигналів, скільки лопастей на крильчатці або зубів на зубчастому диску, тому частота індукованого струму прямо пропорційна швидкості протікання контрольованого середовища. Частота імпульсів, що подається датчиком, служить інформаційним сигналом для зчитувального пристрою.

Швидкість потоку речовини що рухається у трубопроводі зв'язана з кількістю речовини співвідношенням:

$$Q = \mathcal{V}_n S ,$$

Де  $\mathcal{V}_n$  – середня швидкість руху речовини, м/с;  $S$  – переріз трубопроводу, м<sup>2</sup>.

При цьому швидкість  $\mathcal{V}_n$  пропорційна швидкості обертання лопастей  $n$ , тобто:

$$n = \frac{30 \cdot \mathcal{V}_n \cdot \operatorname{tg} \varphi}{\pi \cdot r}$$

Швидкість обертання буде зв'язана з витратою  $Q$ :

$$n = \frac{30 \cdot Q \cdot \operatorname{tg} \varphi}{\pi \cdot r \cdot S}$$

Де  $r$  – радіус турбіни, м;  $\varphi$  – кут нахилу лопасті турбінки до напрямку потоку, град.

Отже, кількість обертів вертушки буде також пропорційна витраті речовини. При малих витратах ця залежність не зберігається, що обумовлено витоком речовини крізь щілини поміж лопастями турбіни і корпусом, а також тертям в опорах рухливої системи. Для зменшення тертя крильчатку і її вісь виготовляють з легких матеріалів. Величина  $n$  помітно змінюється у залежності від характеру потоку. Для заспокоєння потоку перед турбіною з боку входу

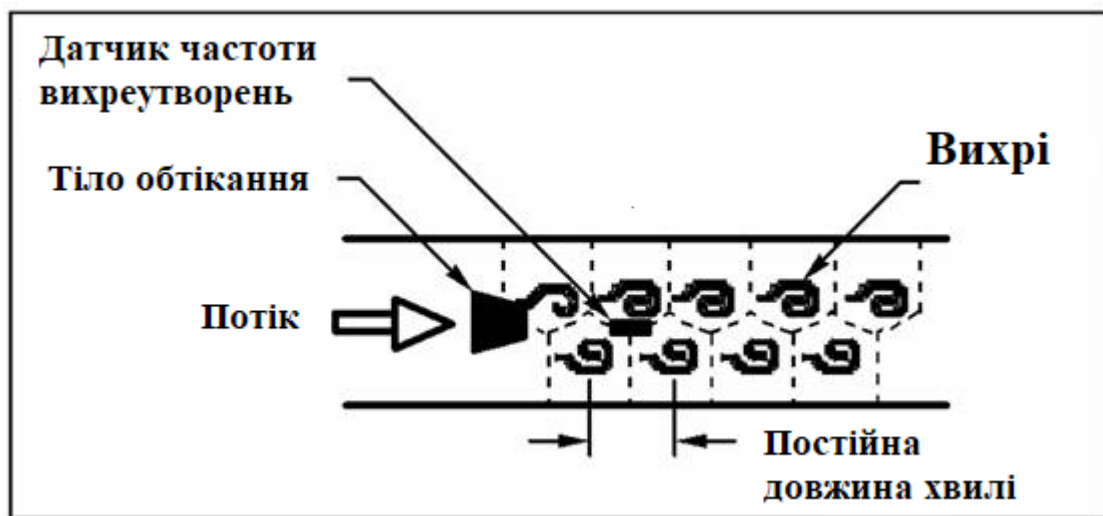
речовини встановлюють струменевипрямовувач, ділянки трубопроводу до датчика і після нього роблять прямими.

#### 1.4 Вихровий датчик потоку

Принцип дії ґрунтується на ефекті Кармана. Цей ефект полягає в тому, що коли в потоці середовища поставити призму з гострими ребрами, наприклад трикутникову, у перерізі, перпендикулярному до потоку, зрив потоку з утворенням вихрів відбувається саме на цих ребрах, частота таких вихрів буде пропорційна швидкості потоку.

$$f = kQ,$$

де  $k$  – коефіцієнт пропорційності вихрового датчика, визначається при градуванні індивідуально для кожного датчика.



Мал.1.2. Принцип дії вихрового датчика.

Вихрі що проходять за призму, утворюють поле змінного пульсуючого тиску, пропорційного частоті  $f$ , що дозволяє вимірювати їх частоту. Перерізи призм можуть бути найрізноманітніші. Однак для усіх видів призм характерне утворення пульсуючих тисків, частота яких може бути легко перетворена у електричні вихідні частотні сигнали, за допомогою різних типів перетворювачів (терморезисторні, п'єзоелектричні, індукційна та інше).



Основними перевагами вихрових датчиків є відсутність будь-яких рухливих елементів усередині трубопроводу, можливість вимірювання швидкості потоків рідини, пари і газу, а також лінійність шкали у великому діапазоні вимірювання. Найчастіше використовується для вимірювання швидкості рідини. До недоліків можна віднести необхідність їх індивідуальної повірки.

### 1.5 Калориметричний датчик потоку



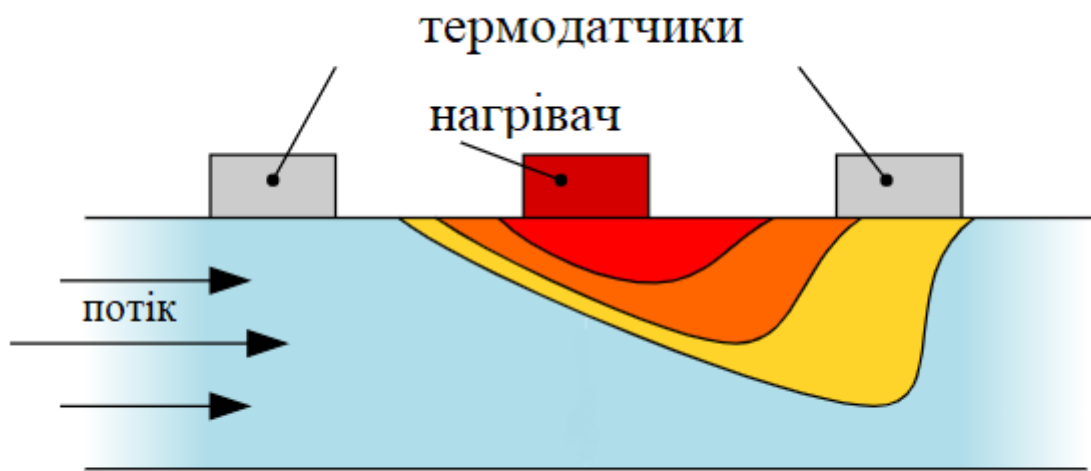
В основі принципу роботи калориметричних датчиків покладено термодинамічний принцип дії. Вимірювальний зонд датчика примусово (зсередини) нагрівається на кілька градусів вище температури середовища (потoku рідини) в яку він занурений. При наявності потоку тепло, що генерується в зонді, відводиться потоком середовища, таким чином зонд охолоджується. Усталена в зонді температура вимірюється і порівнюється з температурою контрольованого середовища. При цьому виміряна різниця температур пропорційна швидкості потоку, а, отже, і кількості пройденій через датчик рідини вимірюваного середовища.

Чутливість термодинамічних датчиків залежить від теплотехнічних властивостей вимірювального середовища. Так, чутливість стандартного датчика внаслідок меншої теплопровідності, для масла, наприклад, повинна бути в 3 рази,

а для повітря в 30 разів вище ніж для води. Термодинамічні датчики потоку працюють без використання рухливих частин, тому відсутня небезпека корозії підшипників, надлому крильчатки або деформації обтічних елементів. Ця обставина зумовила їх високу надійність, що високо цінується у всіх галузях промисловості.

#### Мал.1.3.Моделювання охолодження датчика протоком

Параметри потоку охолоджуючої води в зварювальних установках



контролюються за допомогою компактних приладів, чутливі елементи яких виготовлені з нержавіючої сталі. При цьому необхідне охолодження забезпечується навіть при високому темпі зварювальних операцій. При відмові системи охолодження зварювальний робот автоматично відключається.

#### Мал.1.4. Схематичне зображення охолодження датчика протоком

Захист від роботи в суху різних насосів є широко поширеним видом застосування компактних датчиків.

Особливістю конструкції є штифт, на вістрі датчика, на кому знаходиться температуро-залежний вимірювальний елемент. Вимірювальне вістря і кріпильна частина з нарізаним на ній різьбленням є одним цілим і у багатьох датчиків виготовлені з нержавіючої сталі. Цим досягається абсолютна герметичність і висока стійкість по відношенню до надлишкового тиску. Для вимірюваних

середовищ , що викликають корозію, а особливо окислення, застосовуються особливі матеріали, оскільки нержавіюча сталь по відношенню до них стійкою є лише умовно.

При стандартному використанні, спосіб монтажу датчиків може надаватися незалежно від напрямку руху вимірюваного середовища.

Принципово важливо стежити за тим, щоб штифт датчика в кожному випадку був занурений повністю у вимірювальне середовище. Необхідно враховувати, що вістря датчика зменшує перетин труби, в якій він встановлюється. При невеликих діаметрах це викликає збільшення швидкості потоку. Щоб уникнути порушень в роботі датчика, що виникають за рахунок нестабільності динамічних характеристик потоку, не допускається установка безпосередньо, ближче ніж на відстані 4 ... 8 діаметрів труби, перед або після датчика будь-яких пристроїв, що впливають на їх якість.

Вимірювальні датчики з короткою різьбою призначені для монтажу тільки на трійниках. Їх монтажна довжина визначена таким чином, щоб вістря датчика було повністю оточене середовищем вимірювання, не торкаючись при цьому протилежної стінки трубопроводу. Всі стандартні різьблення вимірювальних датчиків є циліндричні трубними різьбами типу G відповідно до міжнародного стандарту DIN ISO 228.

Рівняння теплового балансу за виключенням теплоти, що витрачається у навколишнє середовище крізь стінки трубопроводу, має вигляд:

$$q = k \cdot M \cdot C_p \cdot \Delta t$$

Де  $q$  - кількість теплоти, що віддається нагрівачем матеріальному потоку;  $k$  - коефіцієнт, що враховує нерівномірність розподілу температур за перерізом трубопроводу;  $M$  - масова витрата потоку;  $C_p$  - питома масова теплоємність при середній температурі;  $\Delta t$  - різниця температур середовища до та після нагрівача на окремій ділянці трубопроводу.

Теплота  $q$ , що утворюється електронагрівачем визначається за рівнянням:

$$q = 0,24 I^2 R$$

де  $I$  - електричний струм у нагрівачі;  $R$  - електричний опір нагрівача.

$$M = \frac{0,24I^2R}{k \cdot C_p \cdot \Delta t}$$

Де М – масова витрата.

Аналіз формули свідчить, що визначивши різницю  $\Delta t$  за умов підводу постійної потужності до нагрівача, можна визначити і величину витрати М.

## **Висновки**

Вивчивши представлені на ринку датчики потоку помічаємо, що механічні датчики, що працюють на принципі пропускання потоку через себе, зменшуючи переріз пропускання, нам не підходять в силу того що охолоджуюча рідина технічна і не має фільтрів, ні по вході, ні по виходу. Отже є можливість перекривання потоку частками іржі, вапняного нальоту чи іншим.

Датчики потоку такі як ультразвукові чи електромагнітні не зважають на зайві частки в речовині, що дає змогу використовувати в даних умовах. Але до недоліків можна віднести високу ціну через велику точність, нам же потрібно фіксувати лише різку зміну швидкості потоку.

Основною задачею є не тільки контроль потоку але й отримання температурних показань охолоджуючої рідини. За цим робимо головний висновок, що використовуючи калориметричний принцип ми маємо змогу побудувати одночасно і датчик потоку і температури в одному корпусі, використовуючи лише один вимірювач температури на датчик.

Алгоритм процесу вимірювання показань датчиком має два етапи:

- Датчик працює в режимі термодатчика
- Датчик працює в режимі датчику вимірювання швидкості потоку

На даний момент існує реалізація системи з подібними характеристиками на основі дорогих калориметричних датчиків потоку та окремо для вимірювання температури встановлені термодатчики. Від кожного датчика, як потоку так і температури, йде окремий сигнальний дріт до керуючого контролера. Крім того що для контролю охолоджуючої рідини використовується надзвичайно точні калориметричні датчики потоку, так ще й для під'єднання всіх датчиків до контролера потрібна окрема шафа.

## **2. Технічний опис системи**

Багатоканальна система контролю потоку и температури охолоджуючої рідини розрахована для застосування в системах охолодження діючих виробничих установок. Використання системи контролю потоку и температури допоможе уникнути аварійних ситуацій на виробництві через несвоєчасне виявлення та усунення проблем в охолоджувальній системі.

Система обладнана елементами світлової індикації безпосередньо на кожному датчику:

Зелений світлодіод – під'єднаний паралельно з живленням датчика;

Голубий світлодіод – вмикається коли датчик переходить в режим вимірювання швидкості потоку.

Червоний світлодіод – вмикається при досягненні температурою охолоджуючої води заданого порогового значення і/або при зменшенні швидкості потоку нижче порогового значення.

Відомості про температуру та витрати охолоджуючої води викладені у відповідній технічній документації на виробниче обладнання.

Всі дії по усуненню виявлених за допомогою системи порушень потоку здійснюються обслуговуючим персоналом обладнання. Органів безпосереднього управління установкою система не передбачає.

Система складається з блоку управління і датчиків дистанційного контролю потоку та температури з елементами індикації з'єднаних по протоколу 1-Wire.

Блок управління знаходиться в зоні оператора, в робочому режимі відображає поточний стан системи охолодження (має пристрій індикації), при необхідності подає звуковий або візуальний сигнал аварії. Система має можливість обміну інформацією з головною системою реєстрації параметрів процесу, при необхідності (передача даних через протокол комп'ютерних мереж – Ethernet).

До експлуатації системи в робочому режимі можуть бути допущені штатні оператори установок, які ознайомлені з роботою системи контролю.

При необхідності проведення ремонтних і профілактичних робіт, пов'язаних із заміною датчиків протоки, необхідно врахувати наступне:

Блок управління має два входи підключення датчиків: робочий і тестовий. До робочого входу в штатному режимі підключені всі наявні в наявності датчики. Тестовий вхід використовується тільки в процесі налагодження та обслуговування системи. Кожен датчик, перед установкою і підключенням до робочого входу, підключається до тестового входу. Система реєструє і запам'ятовує серійні номери компонентів цього датчика, присвоюється номер каналу цього датчика, прописуються параметри налаштування датчика (поріг температури, інтенсивність нагріву). Після реєстрації, датчик може бути підключений до робочого входу разом з іншими датчиками. До цих робіт можуть бути допущені фахівці з середньою-спеціальною освітою.

Для забезпечення надійності роботи системи рекомендується проводити профілактичну перевірку працездатності датчиків не рідше 1 разу на рік, для кожного датчика включаючи ЗІП. У ЗІП рекомендується закладати до 5% датчиків від загальної кількості.

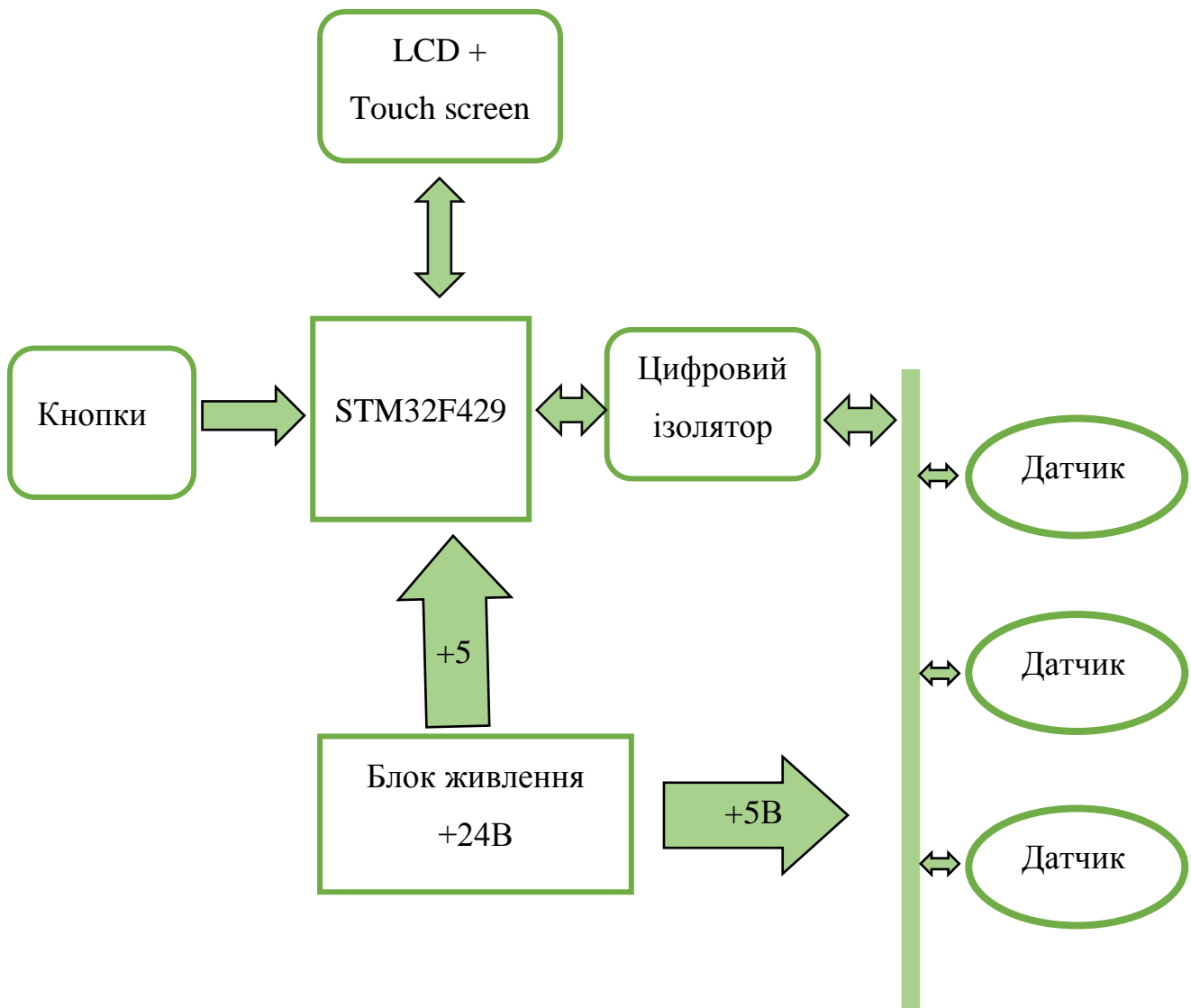
Датчик контролю і температури являє собою муфту, на якій розміщено термозонд і роз'єм для підключення датчика у мережі MicroLan протоколу 1-Wire. Для установки в трубопровід муфта має стандартне різьблення G ½ ".

Термозонд це конструкція що складається зі скоби ( $L = 18$  мм) виготовленої з мідного дроту діаметром 1,5 мм і мідної підкладки (10мм x 4,5мм x 0,4мм), які скріплені між собою пайкою. На підкладці термозонда встановлений цифровий термометр типу D18B20, крім того, він має нагрівач (SMD резистор номіналом 4,7 Ом) встановлений на підкладці проти термометра. Термозонд всередині муфти розміщений таким чином, що за її габарити виступає тільки частина скоби довжиною 10 мм. Порожнина муфти після фіксації необхідного положення термозондів і роз'єму заповнена епоксидним клеєм.

Для визначення наявності потоку в системі контролю потоку та температури використані датчики потоку основані на термометричному принципі. Суть даного принципу полягає в тому, що при обтіканні тіла (яке забезпечено нагрівачем певної потужності) потоком рідини, ця рідина буде відбирати тепло у тіла, що нагрівається. Чим більше швидкість рідини, тим інтенсивніше відбір тепла, тим менше температура цього тіла буде відрізнятися від температури оточуючої його рідини. В даному датчику застосовано два режими роботи термозонда. Ці режими відпрацьовують послідовно з певним алгоритмом затримок.

В першому режимі: термозонд вимірює температуру охолоджуючої рідини.

В другому режимі: на термозонді вмикається нагрівач на певний час (чим сильніше нагріється термозонд тим точніше можна буде виміряти швидкість потоку), починається процес охолодження термозонда потоком, після затримки

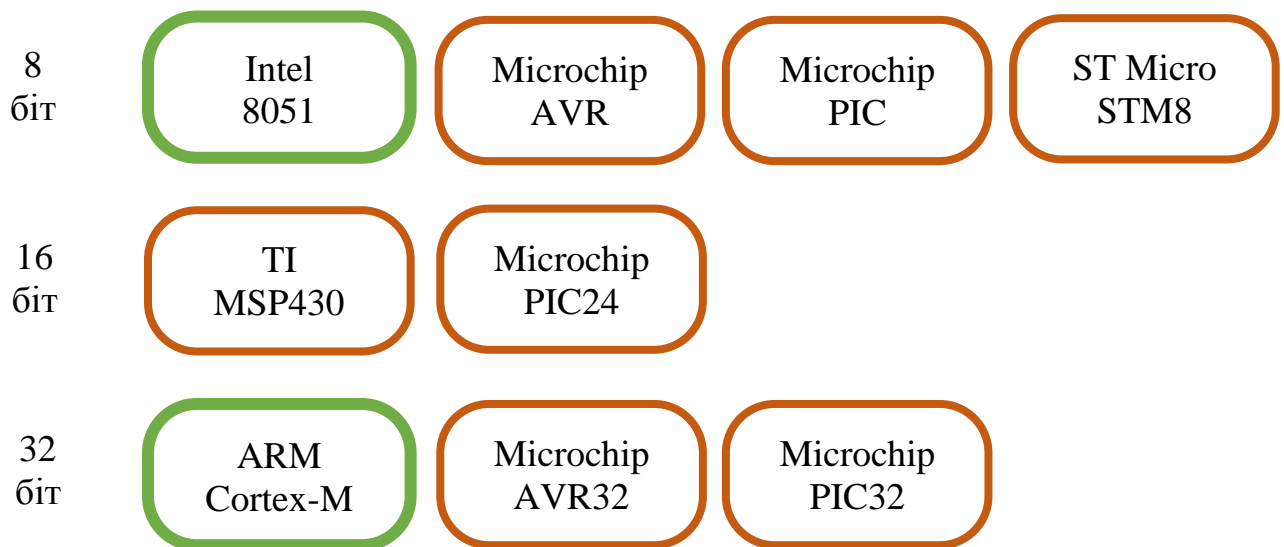




Мал.2.1. Блок схема системи контролю потоку і температури, спрощена.

робиться замір температури. Температура термозонда без нагрівання характеризує температуру рідини в потоці, а різниця температур між термозондом до нагріву і після нагріву і охолодження потоком - характеризує швидкість потоку.

## 2.1 Огляд мікроконтролерів



Мал.2.2.Найпопулярніші на сьогодні мікроконтролери.

### Чому мікроконтролери саме на ядрі Cortex-M?

- Чудова продуктивність
- Великий вибір модельного ряду
- Великий вибір периферійних пристроїв
- Програмна конфігурація процесора «на льоту»
- Низьке енергоспоживання та розвинуте керування живленням
- Низька вартість

На сьогодні ARM Cortex-M4 стає, можливо, найпопулярнішим 32-розрядним процесорним ядром для вбудованих систем, а мікроконтролери на його базі мають універсальну, добре збалансовану архітектуру. Багато фахівців вважають STM32 одним з найпоширеніших, дешевих і перспективних 32-розрядних мікроконтролерів.

Мікроконтролер використовується для обробки даних з датчиків та керуванням роботи логіки датчика. Мікроконтролер - це невеликий комп'ютер на одній інтегральній схемі. У сучасній термінології вона схожа, але менш складна, ніж система на чіпі (SoC); SoC включає в собі, як один з компонентів, один або кілька мікроконтролерів. Мікроконтролер містить один або більше мікропроцесорів (процесорних ядер) разом з пам'яттю та програмованими вхідними / вихідними периферійними пристроями. Блоки пам'яті для збереження коду програм і даних також часто включається на чіп, а також невелика кількість оперативної пам'яті. Мікроконтролери призначені для вбудованих додатків, на відміну від мікропроцесорів, що використовуються в персональних комп'ютерах або інших програм загального призначення, що складаються з різних дискретних мікросхем.

Мікроконтролери дуже часто зустрічаються в сучасних приладах, таких як системи контролю (вологості, температури, освітленості, відстеження руху чи інше), пральні машини, вони контролюють роботу двигунів і слідкують за системами гальмування сучасних автомобілів.



постійної

На основі Мікроконтролерів створюють системи контролю, реєстрації та керування. Більшість процесорів, які випускаються по всьому світі — мікроконтролери.

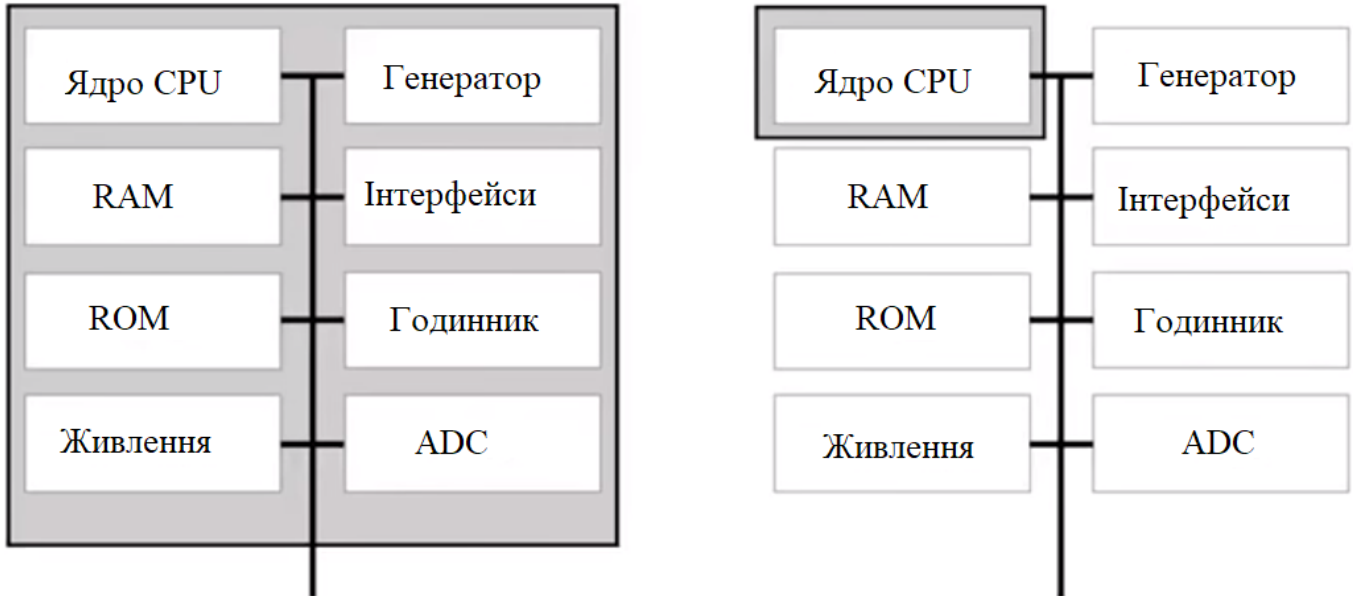
Мікроконтролер є самодостатнім, на відміну від мікропроцесора, всі необхідні компоненти вже всередині чіпу, невисока продуктивність (< 200МГц), небагато оперативної пам'яті RAM (< 1МБ) та

Мал.2.3. Корпус LQFP 176  
24x24x1.4мм

енергонезалежної

пам'яті ROM (< 1МБ), для роботи достатньо тільки джерела живлення.

#### Мікроконтролер & мікропроцесор



*Мал.2.4. Мікроконтролер & мікропроцесор.*

Робота МК базується на двох операціях, в не залежності від його типу та потужності, прочитати дані по заданій адресі та записати дані по заданій адресі.

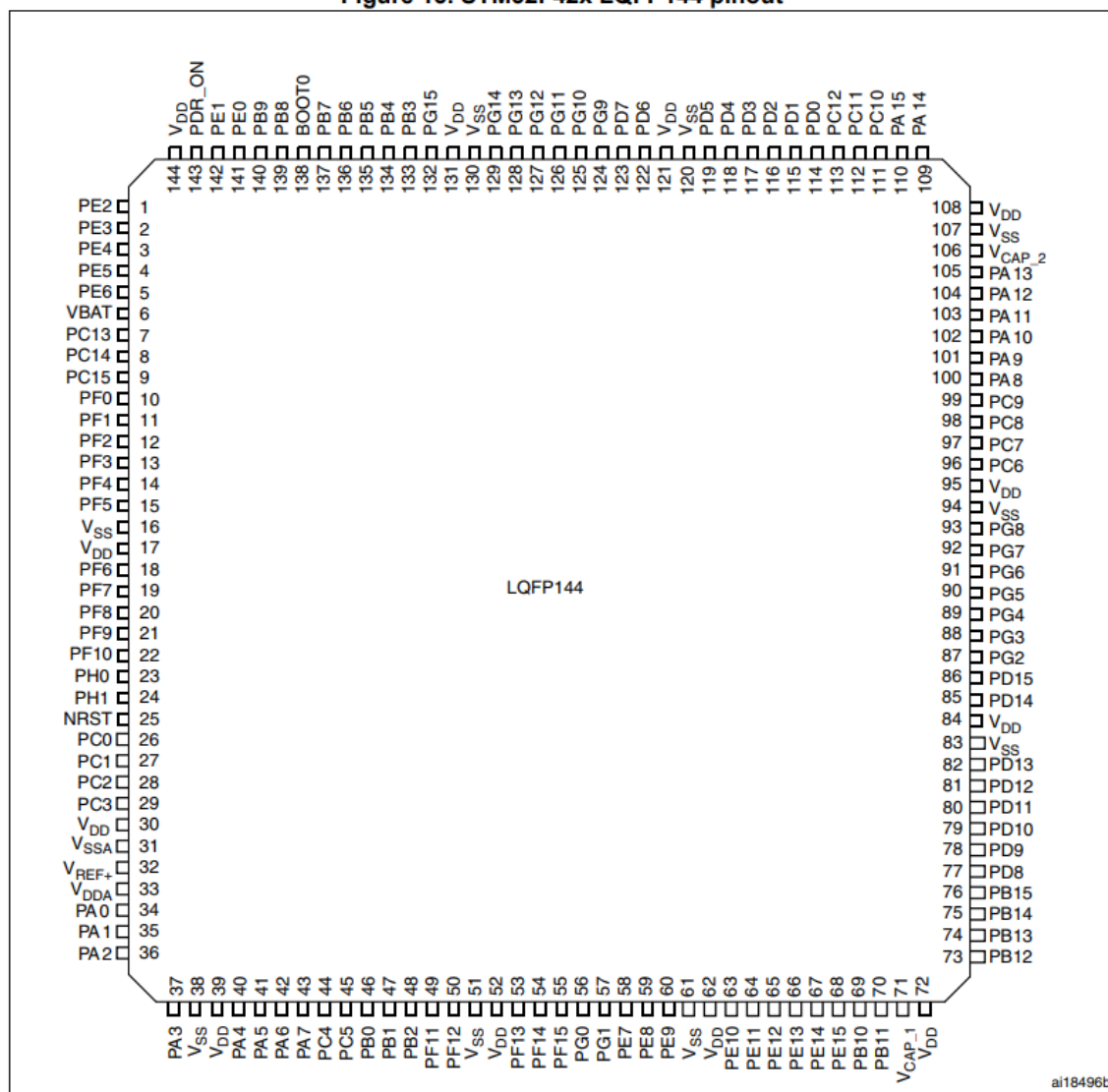
Найвідомішими на світовому ринку виробниками МК є такі фірми, як Intel, Texas Instruments, STMicroelectronics, Microchip, Atmel, Motorola, Zilog, AMD, Philips, Dallas Semiconductor, Hitachi і ряд інших американських, європейських, південно-азійських і японських фірм.

## 2.2 Мікроконтролер STM32F429

STM32F427xx STM32F429xx

Pinouts and pin description

Figure 13. STM32F42x LQFP144 pinout



Мал.2.5. Розпіновка STM32F429 у корпусі LQFP144

Основні характеристики мікроконтролера.

- Ядро: 32-розрядний процесор Cortex®-M4 Arm® з FPU, адаптивний прискорювач у реальному часі (ART Accelerator™), що дозволяє виконання з флеш-пам'яті без затримки, частотою до 180 МГц, MPU, 225 DMIPS, і інструкції DSP.

- Пам'ять:
  - до 2 МБ флеш-пам'яті, розділеної на два сховища (представленої у вигляді двох сховищ), що дозволяють читати під час запису
  - до 256 + 4 КБ SRAM, включаючи 64 КБ оперативної пам'яті даних RAM
- Паралельний інтерфейс LCD, режими 8080/6800
- LCD-TFT контролер з повністю програмованим розширенням (загальна ширина до 4096 пікселів, висота до 2048 рядків і пікселів до 83 МГц)
- Chrom-ART Accelerator <sup>™</sup> для покращеного створення графічного контенту (DMA2D)
- Годинник, скидання і керування живленням:
  - живлення приладу 1,7 В до 3,6 В і вводу / виводу
  - 4 - 26 МГц кварцовий генератор
  - внутрішня 16 МГц заводська настройка RC (точність до 1%)
  - генератор 32 кГц для RTC з калібруванням
  - внутрішнє 32 кГц RC з калібруванням
- Низька потужність:
  - Сплячий режим, Стоп і Режим очікування
  - живлення VBAT для RTC
- 3 × 12-бітний, АЦП 2,4 MSPS
- 2 × 12-розрядні D/A перетворювачі
- DMA загального призначення: 16-потоківий DMA контролер з FIFO і пакетною підтримкою
- До 17 таймерів: до дванадцяти 16-бітних і два 32-бітові таймери до 180 МГц, кожен до 4 IC / OC / PWM або лічильник імпульсів вхід енкодера
- До 168 портів введення / виводу з можливістю переривання
  - до 164 швидких входів / виходів до 90 МГц
  - витримує до 166 5 В на вході / виході

- До 21 інтерфейсу зв'язку
  - до  $3 \times I^2C$  інтерфейсів
  - до 4 USART / 4 UART (11,25 Мбіт/с)
  - до 6 SPI (45 Мбіт/с), 2 із мультиплексованим повним дуплексом
- Розширені можливості підключення:
  - USB 2.0 повношвидкісний пристрій / хост / контролер OTG (On-the-Go)
  - USB 2.0 високошвидкісний пристрій / хост / контролер OTG з виділенням DMA
  - 10/100 Ethernet MAC з виділенням DMA
- 8–14-бітний інтерфейс паралельної камери до 54 Мбайт/с
- Істинний генератор випадкових чисел
- Розрахунковий блок обчислення контрольної суми CRC
- RTC: з точністю до секунди, апаратний календар
- 96-бітний унікальний ідентифікатор

## 2.3 Периферійні блоки контролера

Гнучкий контролер пам'яті (**FMC**)  
Flexible memory controller

В усі пристрої вбудовано FMC. Він має чотири виходи Chip Select, що підтримують такі режими: PCCard / Compact Flash, SDRAM / LPDDR SDRAM, SRAM, PSRAM, NOR Flash і NAND Flash.

Огляд функціональності:

- 8-, 16-, 32-бітна шини даних
- читає FIFO для контролера SDRAM
- пише FIFO
- максимальна частота FMC\_CLK / FMC\_SDCLK для синхронного доступу становить 90 МГц.

ФМС може бути налаштований для безперешкодної взаємодії з більшістю графічних контролерів LCD. Він підтримує режими Intel 8080 і Motorola 6800 і досить гнучкий для адаптації до специфічних інтерфейсів LCD. Ця можливість паралельного інтерфейсу дозволяє LCD легко створювати економічно ефективні графічні додатки з використанням LCD -модулів з вбудованими контролерами або високопродуктивними рішеннями, які використовують зовнішні контролери з виділеним прискоренням.

#### Контролер пріоритетних векторних переривань (NVIC) Nested vectored interrupt controller

Пристрої включають в себе вкладений контролер переривань векторів, здатний керувати 16 рівнями пріоритетів і обробляти до 91 маскувальних каналів переривання та додатково 16 ліній переривань Cortex®-M4 з ядром FPU.

- тісно пов'язана NVIC забезпечує дуже малу затримку при обробці переривань
- адреса таблиці векторів записів переривань, що передаються безпосередньо в ядро
- дозволяє достроково обробляти переривання
- обробка пізно прибуваючих переривань з більш високим пріоритетом
- підтримка ланцюжка хвоста
- стан процесора автоматично зберігається
- запис переривання відновлюється при виході переривання без зайвих інструкцій

Цей апаратний блок забезпечує гнучкі функції управління перериваннями з мінімальною затримкою переривання

## I<sup>2</sup>C

Inter-integrated circuit interface (I<sup>2</sup>C) – послідовна синхронна шина даних, комутація відбувається за допомогою пакетів,. Інтерфейси шини I<sup>2</sup>C можуть працювати в режимах коли багато мастерів і багато підлеглих. Вони можуть підтримувати стандартний (до 100 кГц) та швидкий (до 400 кГц) режими. Вони

підтримують 7/10-бітний режим адресації і 7-бітний режим подвійної адресації (як підлеглий). Вбудовано апаратну генерацію / верифікацію CRC. Вони можуть обслуговуватися DMA. Пристрої включають також програмовані аналогові та цифрові шумові фільтри

При необхідності підключення до системи сенсорного екрану відбудеться саме через протокол I<sup>2</sup>C.

## **2.4 Графічний редактор STM32CubeMX**

Графічний редактор для конфігурації STM32 та ініціалізації генерації коду на мові програмування C.

Ключові особливості, які дає візуальний редактор конфігурації:

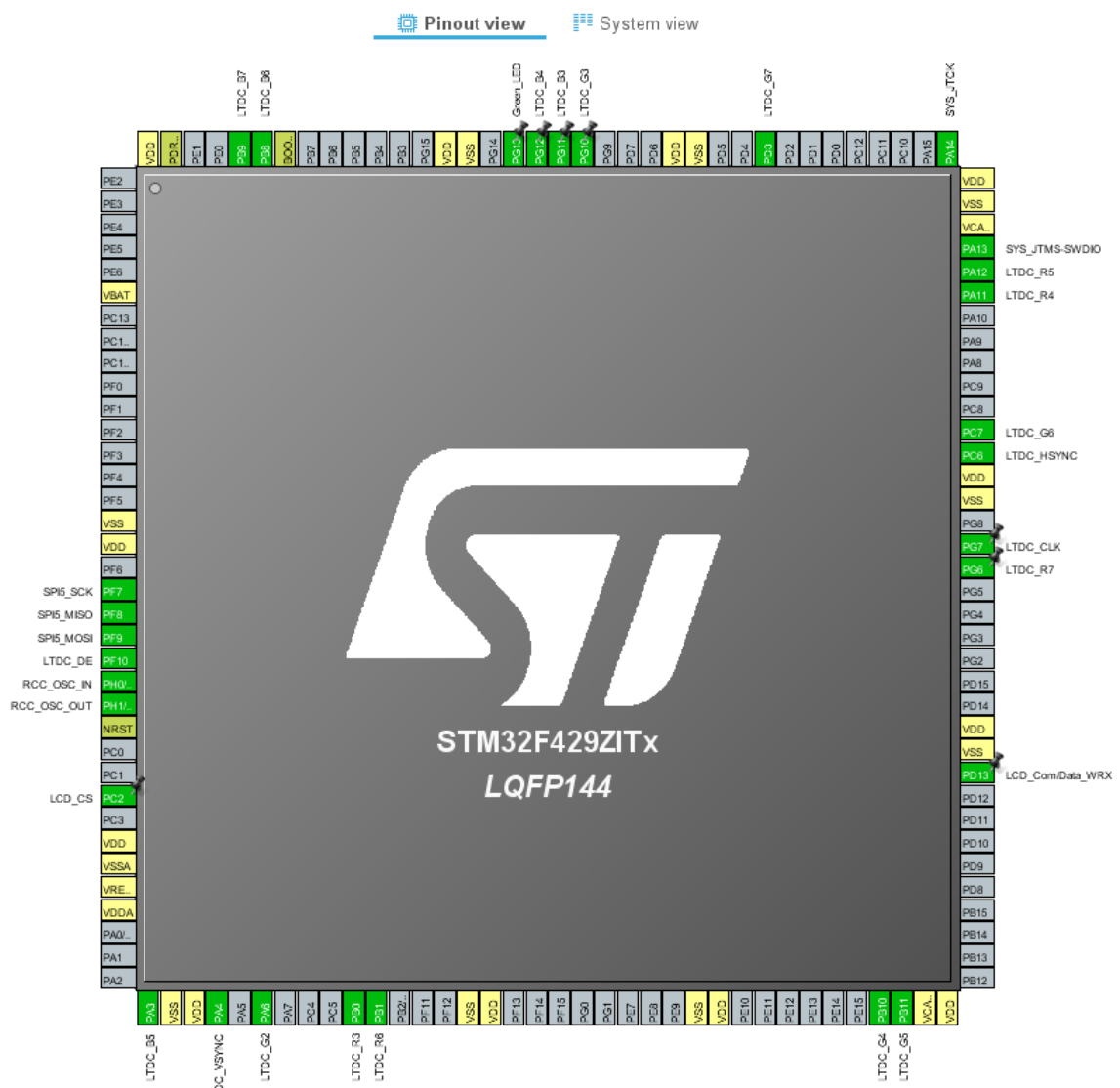
- Легкий вибір мікроконтролера, що охоплює весь портфель STM32
- Вибір відладочних плат зі списку STMicroelectronics
- Легка конфігурація мікроконтролера (піни, дерево частот роботи мікроконтролера, периферія, проміжне програмне забезпечення) і генерація відповідного коду ініціалізації на «C»
- налаштування периферії в складі мікроконтролера, призначення та налаштування пінів які використовуються периферією мікроконтролера
- Простий перехід з одного контролера на інший мікроконтролер сім'ї STM32 шляхом імпортування раніше збереженої конфігурації в новий проект
- Налаштування частоти тактування пінів
- Легкий експорт поточної конфігурації на сумісний контролер
- Генерація проектів C для інтегрованих середовищ розробки. Проекти STM32CubeMX включають сформований код ініціалізації C, сумісні драйвери STM32 HAL, стеки проміжного програмного забезпечення, необхідні для



налаштування користувача, і всі відповідні файли для відкриття та побудови проекту в обраній IDE.

- Розрахунок споживання енергії мікроконтролера для визначеної користувачем послідовності програм

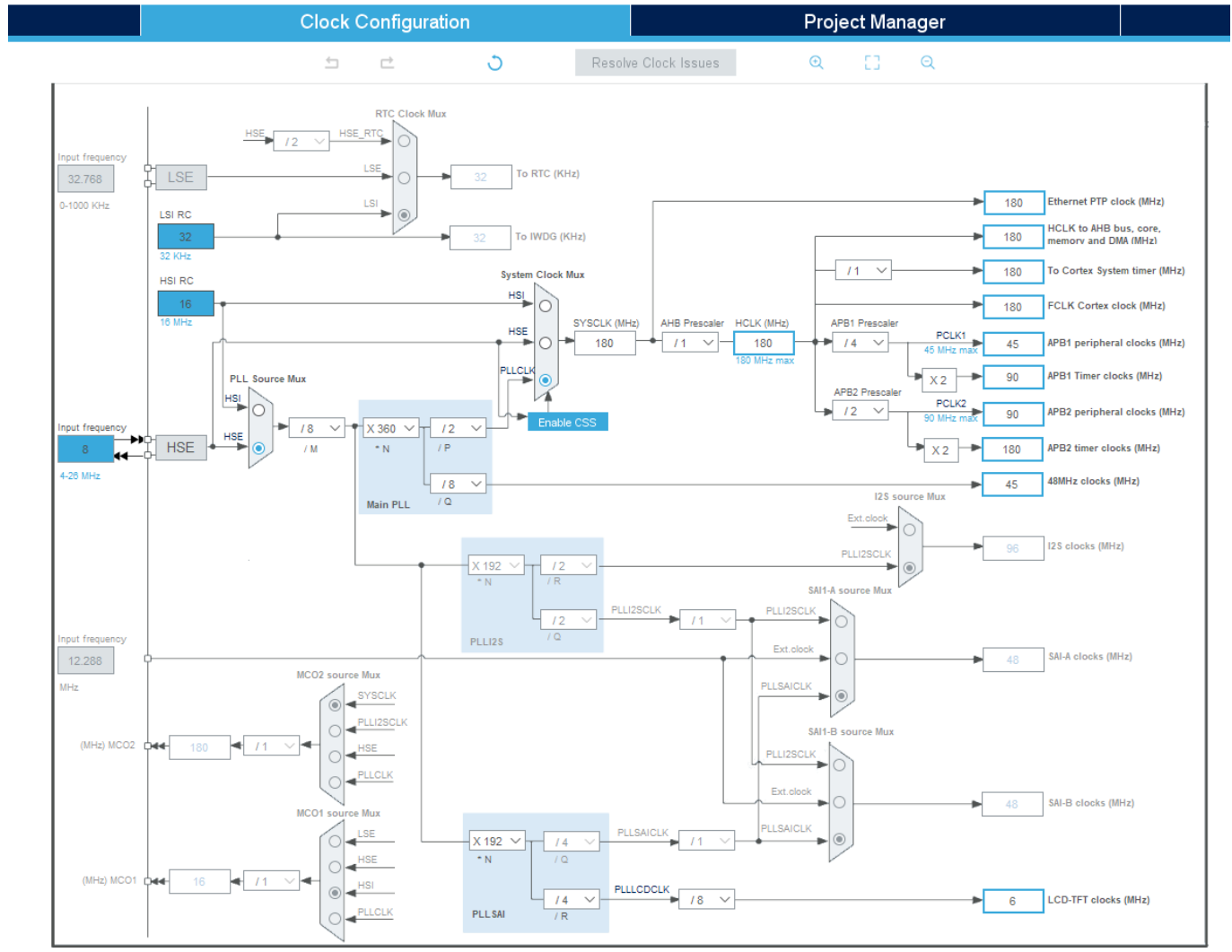
Також STM32CubeMX пропонує користувацький інтерфейс і генерує С-код, сумісний з конструкцією STM32 MCU і рішеннями прошивки, користувачам необхідно звернутися до технічної документації продукту для отримання детальної інформації про фактичні реалізації периферійних пристроїв і мікропрограмного забезпечення мікроконтролерів.



Мал.2.6. Графічне зображення налаштування властивостей пінів та периферії МК

Дуже зручно в CubeMX встановлювати властивості пінів, давати їм імена. Програма підказує на які піни можна підключити певну периферію. Показує якщо є якісь помилку у назначені, виникнення конфліктів.

Також графічно відображена налаштування дерева конфігурації частот.



Мал.2.7. Частотні налаштування мікроконтролера та його периферії

CubeMX надає у зручному та зрозумілому графічному вигляді доступ до налаштування частот мікроконтролера. Можна вибрати від якого генератора буде задаватись тактова частота роботи ядра МК, від внутрішнього RC генератора (Internal) чи зовнішнього кварцового резонатора (External), від повільного (Low Speed) чи від швидкісного (High Speed). Після налаштування основної частоти тактування ядра, переходимо до налаштування шин даних.

АНВ - Advanced High-performance Bus - Розвинена високопродуктивна шина. Системна шина з'єднує вбудовані процесори, такі як ARM ядра, з високопродуктивною периферією, контролерами DMA, вбудованими пам'яттю і швидкісними інтерфейсами. Це високошвидкісна, з широкою смугою пропускання шина, що підтримує, для забезпечення максимальної продуктивності, управління з великою кількістю провідних пристроїв (Multi-master bus management).

APB - Advanced Peripheral Bus - Розвинена шина периферії. Шина периферії - працює зі спрощеним протоколом і розроблена для доступу на низьких швидкостях для повільного управління периферійними пристроями загального призначення. Оптимізована для мінімального споживання електроенергії. Також використовується для роботи з додатковими периферійними пристроями. З системною шиною (АНВ), периферійна шина (APB) з'єднується через міст (bridge), це сприяє зниженню електроспоживання системи.

## **2.5 LCD-TFT Controller**

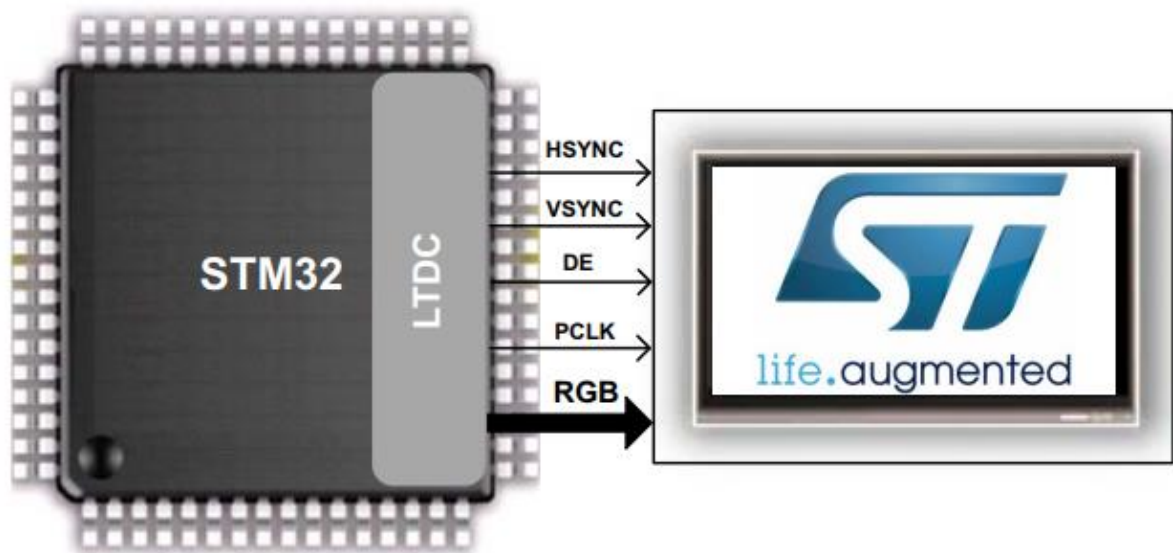
Liquid Crystal Display (рідкокристалічний дисплей), Thin-Film Transistor (тонкоплівковий транзистор)

LTDC – LCD-TFT display controller (контролер рідкокристалічного дисплею з активною матрицею, що керується тонкоплівковими транзисторами).

Контролер дисплея LCD-TFT забезпечує 24-бітний паралельний цифровий RGB (червоний, зелений, синій) інтерфейс і забезпечує передачу всіх сигналів для широкого асортименту LCD -і TFT-панелей до дозволу XGA (1024x768) з такими можливостями:

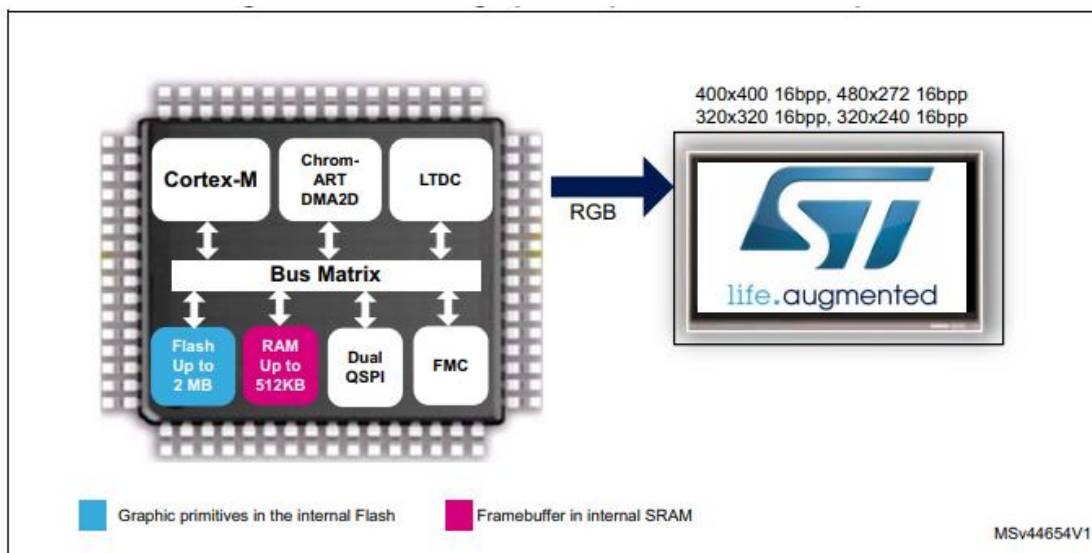
- 2 шари відображення з виділеним FIFO (64x32-біт)
- таблиця пошуку кольорів (CLUT) до 256 кольорів (256x24-біт) на шар
- до 8 кольорових форматів вибираються для кожного шару

- Гнучке змішування між двома шарами за допомогою альфа-значення (на піксель або постійну)
- Гнучкі програмовані параметри для кожного шару
- Кольорове маркування (прозорість кольору)
- До 4 програмованих подій переривання.



Мал. 2.8. Протокол підключення екрана до МК

- HSYNC - горизонтальна синхронізація
- VSYNC - вертикальна синхронізація
- DE - дозвіл на передачу даних екрану
- PCLK – Pixel Clock, сигнал синхронізації
- RGB – паралельна шина даних для передачі зображень



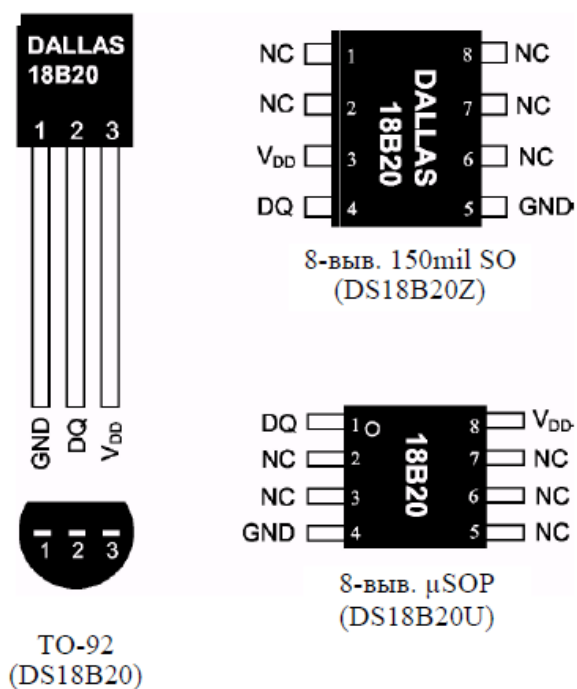
Мал. 2.9. Передача простої графіки через LTDC в екран

На рисунку зображено підключення екрану до МК з розміщенням екранного буферу у внутрішній оперативній пам'яті та зберіганням не складної графіки у Flash пам'яті. При такому підключенні максимальний розмір екрану 400\*400 пікселів.

## 2.6 Цифровий термометр DS18B20

Основою датчика є цифровий термометр DS18B20. Обмін даними з керуючим МК відбувається виключно по 1-Wire протоколу. Цифровий термометр DS18B20 забезпечує вимір температури в °C з 9 ... 12- розрядною роздільною здатністю, і має сигнальну функцію з незалежними програмованими користувачем верхнім і нижнім межами тригера. DS18B20 підключається до шини 1 - Wire, яка за визначенням вимагає тільки однієї лінії даних (і землі) для зв'язку з центральним

### призначення виводів



Мал.2.10. Піни DS18B20 термодатчика

процесором. Діапазон вимірюваної температури - від - 55 °C до + 125 °C з точністю  $\pm 0.5$  °C в інтервалі від - 10 °C до + 85 °C. Крім того, DS18B20 може отримувати живлення безпосередньо від лінії даних ( "паразитне живлення"), усуваючи потребу в зовнішньому джерелі живлення.

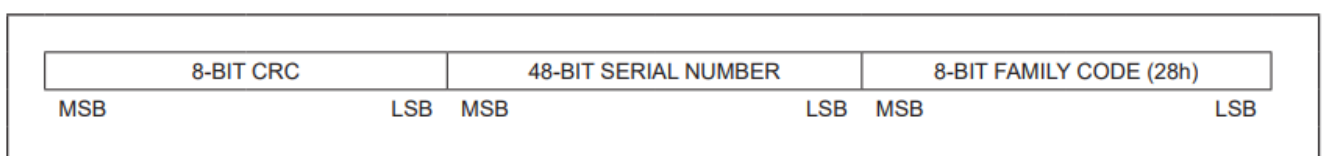
Кожен DS18B20 має унікальний 64-розрядний серійний номер, який дозволяє безлічі DS18B20 працювати на одній однопровідній шині. Таким чином, одним мікроконтролером можна керувати багатьма DS18B20, розподіленими на великій площі.

Особливістю є те, що датчик цифровий, а отже стандартизований та відкалібрований на заводі виробника, повертає результати вимірювання температури 16 розрядним значенням, не потребує ніяких зовнішніх компонентів може житися від лінії даних (режим паразитного живлення, живлення датчику відбувається по лінії даних). Діапазон напруги живлення - від 3.0V до 5.5V.

Розрядність	Роздільна здатність, °C	Час конвертації, мс
9-біт	0,5	93,75
10-біт	0,25	187,5
11-біт	0,125	375
12-біт	0,0625	750

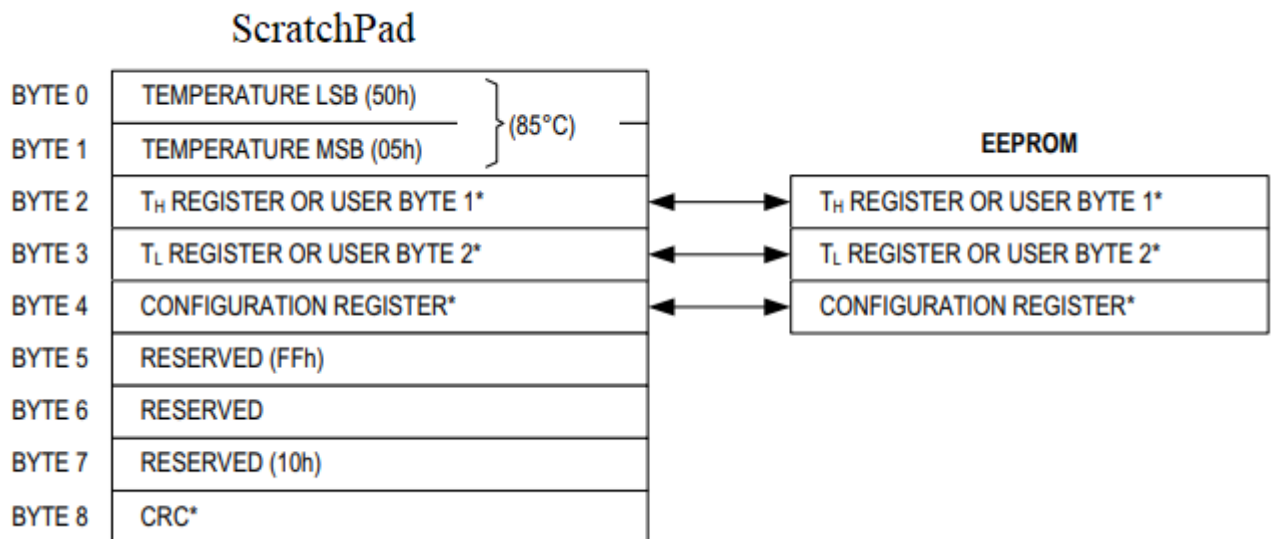
Таблиця залежності основних характеристик термодатчика

Кожен датчик DS18B20 містить в ROM унікальний код, 64 біта довжиною. Молодші вісім біт містять код сімейства мікросхем DS18B20 28h. Середній блок з 48 біт це унікальний серійний номер пристрою. Старші вісім біт це циклічний код (CRC) для всіх попередніх 56 бітів. Вся пам'ять включає в себе оперативну



64 -бітний ROM код

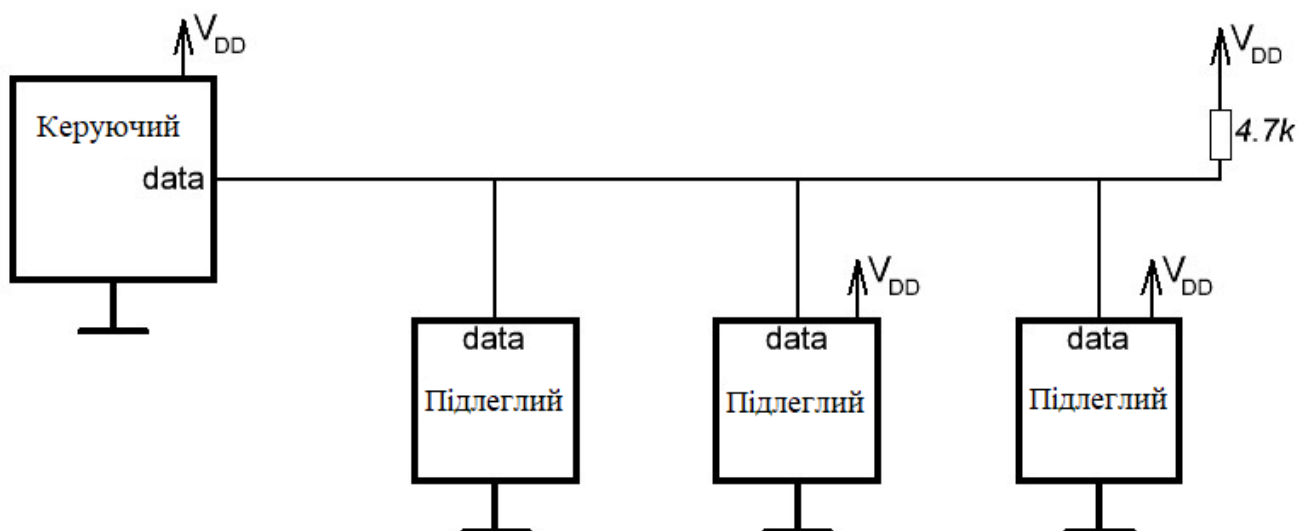
(SRAM) і енергонезалежну (EEPROM) пам'ять. У EEPROM зберігаються регістри  $T_H$ ,  $T_L$  і регістр конфігурації. Якщо функція тривожного сигналу не використовується, то регістри  $T_H$  і  $T_L$  можуть використовуватися як регістри загального призначення. В байтах з адресами 0 і 1 зберігаються молодший і старший байти регістра виміряної температури. Ці байти доступні тільки для читання. 2й і 3й байти -  $T_H$  і  $T_L$  регістри. Байт 4 - регістр конфігурації, яким можна встановити розрядність конвертації температури. При ввімкненні живлення, за замочуванням датчик у режимі 12-бітної розрядності.



Мал.2.11. Організація пам'яті DS18B20

Байт 8 доступний тільки для читання. Він містить циклічний код (контрольну суму, CRC) для перших восьми байтів.

## 2.7. Протокол 1-Wire



Мал.2.12 Підключення пристроїв в системі 1-Wire

Система з шиною 1-Wire складається з одного ведучого пристрою (master), яке управляє одним або декількома відомими пристроями (slave). DS18B20 може бути тільки відомим. Система, в якій один відомий пристрій, називається одноточковим. Система з кількома відомими - багатоточковою. Всі команди і дані обміну передаються по шині молодшим бітом вперед.

Інтерфейс 1-Wire має одну двонаправлену лінію зв'язку DQ, підтягнуту до плюса живлення через резистор (4,7 к Ом), для забезпечення високого рівня сигналу при неактивному стані пристроїв. Допускається до 256 приладів на лінії. Кожен пристрій (керуючий або підлеглий) підключено до шини даних портом з виходом типу відкритий колектор або з трьома станами. Така конфігурація дозволяє кожному пристрою системи не займати лінію зв'язку, коли воно не активно, і тримати шину вільною для інших пристроїв. У мікросхемі DS18B20 вихід (DQ) - відкритий стік.

Лінію даних можна використовувати для підключенням мікросхем з паразитним живленням. Така схема підключення дозволяє зекономити один дріт при підключенні.

Шина може перебувати в стані високого рівня як завгодно довгий час. Переключення шини в стан низького рівня на час більш ніж 480 мкс призведе до того, що всі компоненти системи будуть скинуті.



Розглянемо 5 основних випадків обміну інформації для зв'язку по шині 1-Wire: "Запис 1", "Запис 0", "Читання", "Сброс" і "імпульс присутності".

На малюнках, червоний колір - управління лінією від ведучого, синій колір - управління лінією від підлеглого, чорний - звільнена лінія (підтягуючий резистор забезпечує високий рівень ("одиницю") коли лінія звільняється).

Сигнал "Запис 1". Головний тягне шину на нуль протягом 1 ... 15 мкс. Після

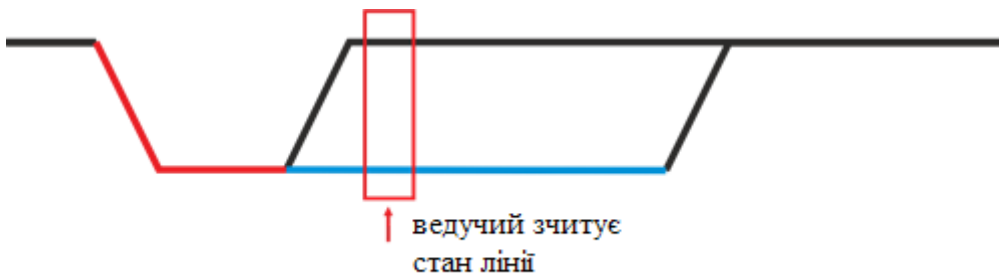


цього, на решту часу слота шина вільна.



Сигнал "Запис 0". Головний тягне шину на нуль протягом 60 ... 120 мкс.

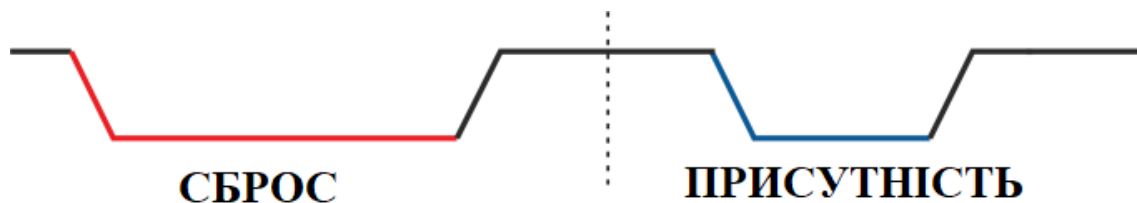
Сигнал "Читання". Головний тягне шину на нуль протягом 1 ... 15 мкс. Якщо підлеглий хоче передати 0 – він утримує шину в низькому стані до 60 мкс;



при передачі підлеглим 1 – шина залишається вільною. Головний зчитує стан шини після установки низького рівня з затримкою 15 мкс.

Сигнал "Сброс / Присутність". Часові інтервали імпульсів відрізняються. Головний тягне шину на нуль протягом 480 мкс і потім звільняє її. При тривалому періоді низького стану відбувається "Сброс" (Reset).

Якщо на шині присутній хоча б один підлеглий, то він повинен протягом 60 мкс після звільнення Керуючим шини притягнути шину на нуль з тривалістю не менше 60 мкс. Даний відгук і є сигнал "Присутність". Якщо такий сигнал не

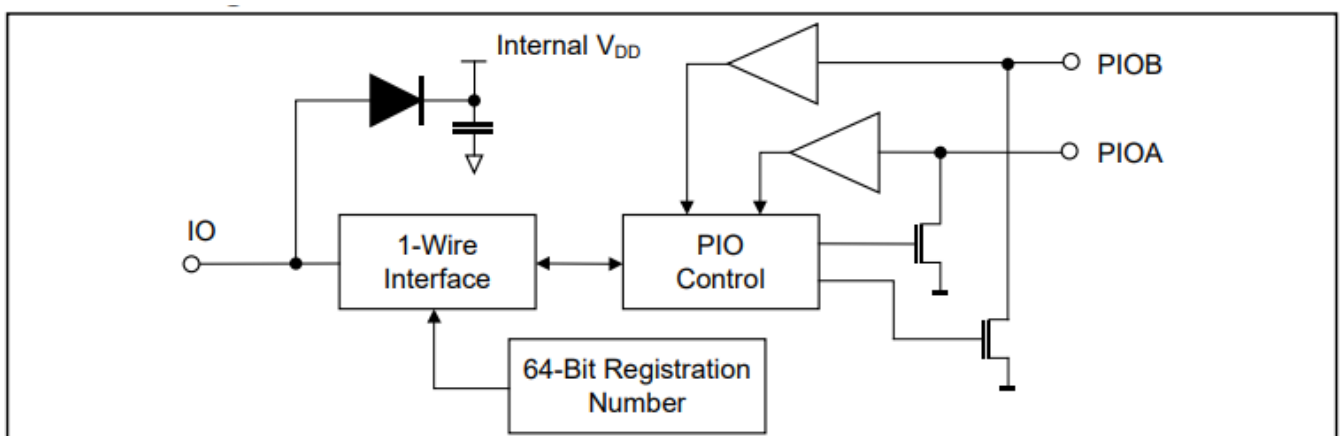


з'являється, то Ведучий з'ясовує, що немає підлеглих пристроїв на шині.

Дана процедура завжди починає будь-який обмін інформацією між 1-Wire пристроями. Крім цього, потрібно враховувати, що будь-який ведене пристрій після підключення живлення відразу ж видає сигнал присутності.

Сигнал "Сброс" дозволяє ведучому на будь-якій стадії обміну достроково завершити процедуру.

## 2.8. Комутатор DS2413



Двох канальний адресований порт введення / виводу.

Мал.2.13. Блок схема DS2413

PIO – Programmable I/O

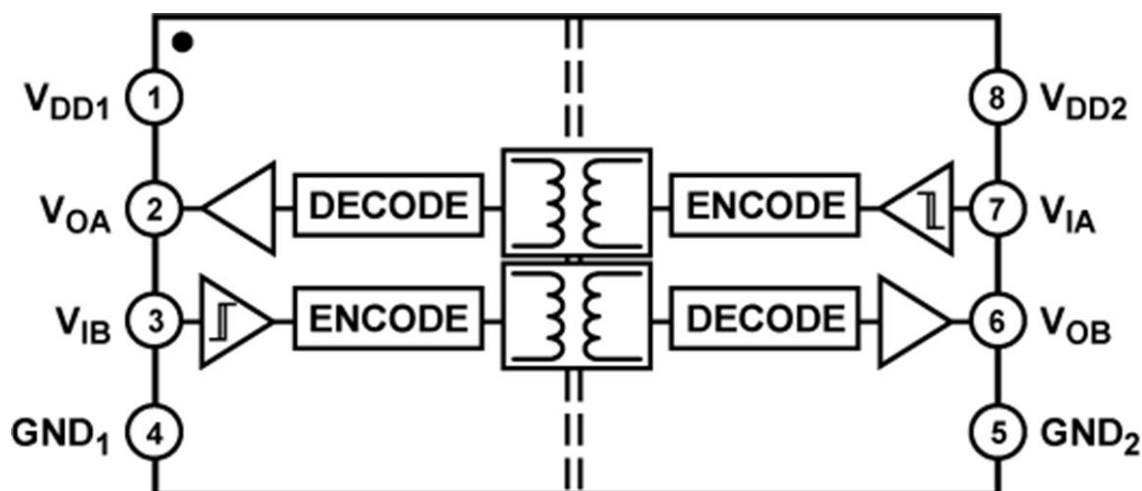
Мікросхема працює виключно по протоколу 1-Wire, тільки через паразитне живлення. Виходи PIO з відкритим істоком і можуть забезпечити постійний струм до 20 мА при вихідній робочій напрузі до 28В. Керування і розпізнавання PIO-контактів виконується за допомогою спеціального протоколу команд на рівні пристрою. Щоб забезпечити високий рівень відмовостійкості кінцевого приладу, 1-Wire IO і PIO піни здатні витримувати безперервно прикладену напругу до 28V макс.

Кожен DS2413 має реєстраційний номер довжиною 64 біти. Реєстраційний номер гарантує унікальну ідентифікацію і використовується для адресації пристрою в багатоточковій 1-Wire мережі, де кілька пристроїв під'єднані на загальну 1-дротову шину і працюють незалежно один від одного.

Максимальний струм через IO Pin  $\pm 25\text{mA}$

Максимальний струм через PIO Pin  $\pm 30\text{mA}$

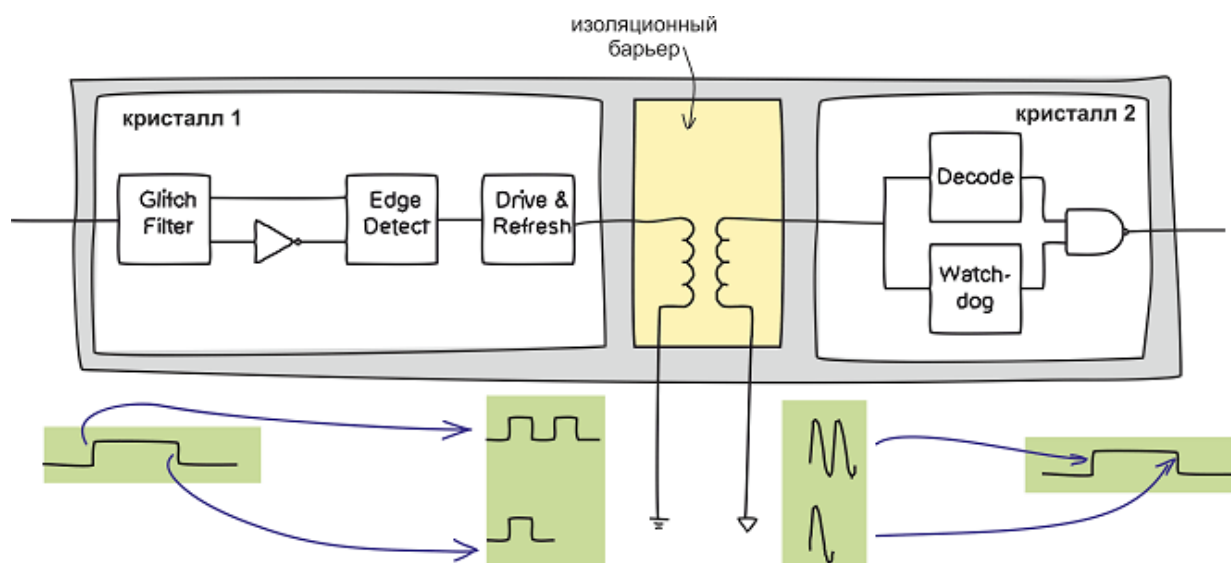
## 2.9. Цифровий ізолятор ADuM1201



Мал.2.14. Блок схема цифрового ізолятора

Цифрові ізолятори на основі технології магнітних ізоляторів iCoupler® від Analog Devices дозволяють розробникам реалізувати гальванічну ізоляцію в своїх проектах без обмежень по вартості, габаритам, енергоспоживанню, продуктивності і надійності, характерних для оптопар.

Analog Devices в цифрових ізоляторах ADuM в якості бар'єру використовує імпульсний трансформатор. Всередині корпусу мікросхеми розташовано два кристали і, виконаний окремо на поліімідній плівці, імпульсний трансформатор. Кристал-передавач по фронту інформаційного сигналу формує два коротких



імпульсу, а по спаду інформаційного сигналу - один імпульс. Імпульсний трансформатор дозволяє з невеликою затримкою отримати на кристалі-передавачі імпульси по яким виконується зворотне перетворення.

#### Мал.2.15. Принцип роботи Цифрового ізолятора

##### Принцип дії та технічні характеристики

Кожен канал iCoupler складається з двох КМОН-кристалів в одному корпусі. Вхідний цифровий сигнал через формувач-кодер подається на передавальну високодобротну котушку, розташовану зверху над приймальні котушкою. Крім котушки, приймач даних містить декодер-формуваач вихідної послідовності даних. Запатентований алгоритм кодування-декодування сигналів гарантує, що вихідний сигнал з високою точністю повторить вхідний сигнал без обмеження частоти сигналу в низькочастотній області, аж до постійної складової. Вся система кодування, передачі і відновлення сигналів забезпечує електричну міцність ізоляції 2500 В. Крім того, так як електромагнітна енергія повністю обмежується областю двох котушок трансформатора, кілька каналів iCoupler можуть бути об'єднані в одному корпусі без інтермодуляційних перешкод.

На відміну від більшості оптопар, не вимагає додаткових компонентів, крім звичайного фільтруючого конденсатора на шині живлення. Ізолятор має незалежне живлення передавальної і приймальної частин, тим самим дозволяючи перетворювати рівні сигналів, подаючи на одну частину мікросхеми, наприклад, живлення 3,3 В, а на іншу 5 В. iCoupler не використовує неефективне електро-оптичне перетворення і тому його споживана потужність становить 10 ... 20% потужності оптопар. Крім того, він забезпечує значно більшу швидкість передачі даних в температурному діапазоні -40 ... + 125 ° С. Багатоканальні ізолятори, на відміну від оптопар, мають варіанти виконання з прямим і зворотним напрямком зв'язку каналів, і перекривають всі можливі конфігурації напрямків зв'язку.

## **Висновки**

Усі компоненти проекту як апаратні так і програмне забезпечення, усе живе і розвивається зараз. Апаратна частина підібрана не тільки з боку теоретичної цікавості та розрахунків але і з практичної – компоненти системи можна легко придбати в Києві, не зняті з виробництва та мають народну ціну.

Однією з причин по якій було обрано мікроконтролер саме виробництва STM32, це програмне забезпечення. Воно або безкоштовне, або має обмежені можливості для зареєстрованих користувачів, постійно оновлюється. У доступі величезна кількість бібліотек та прикладів. Також спільнота активно пише свої бібліотеки та викладає у мережу (наприклад на Github).

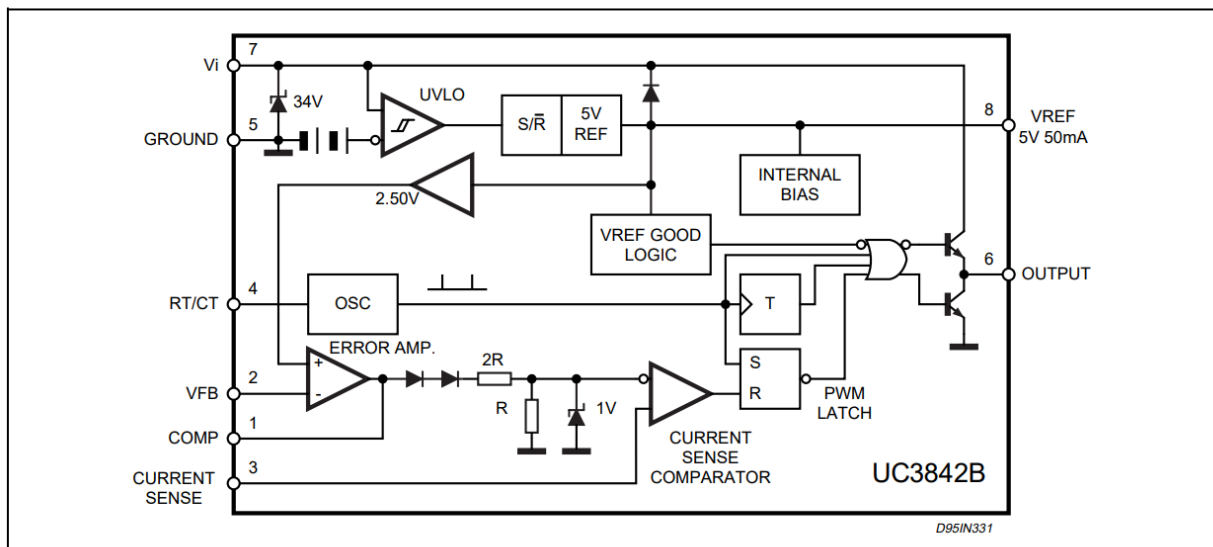
Компанія STM32 в своєму каталозі має велику кількість відладочних плат типу Discovery та інші. На яких до МК вже підключені велика кількість датчиків, екрани, акселерометри тощо, і для всього є бібліотеки з прикладами. Таж BSP (Board support package) бібліотека для 32F429IDISCOVERY має вичерпні приклади по периферіям МК для вивчення та використання у своїх проектах.

### 3. Розрахунки системи

#### 3.1 Розрахунок блоку живлення

Для побудови блоку живлення системи контролю протока охолоджуючої рідини, була обрана схема зворотньоходового перетворювача (flyback). Вона має можливість забезпечити досить велику потужність, не чутлива до коротких замикань навантаження. Принциповим є те що, для живлення системи використана безпечна напруга 24В. Розгалужена сіть датчиків, під час роботи технологічного устаткування, може отримувати великі завади, які будуть викликати збої контролера. Тому блок повинен забезпечити дві гальванічно розв'язані напруги для живлення датчиків і контролера. Так як контролер гальванічно ізольований від кола вимірювань за допомогою цифрового ізолятора.

**BLOCK DIAGRAM** (toggle flip flop used only in UC3844B and UC3845B)

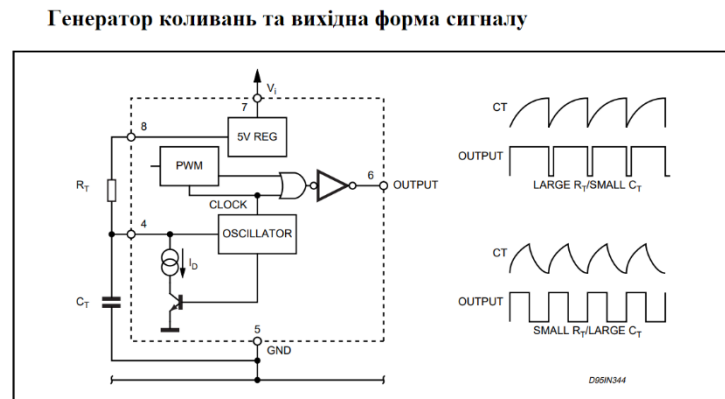
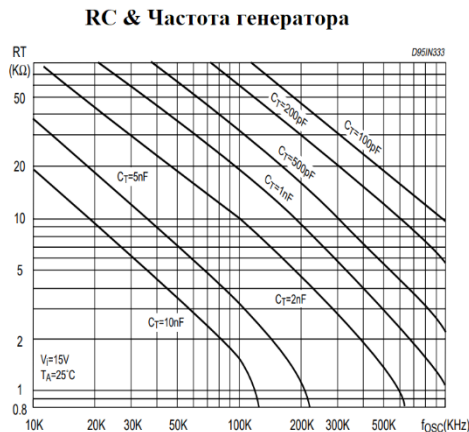


Мал.3.1 Блок схема UC3844

Блок живлення побудований на спеціалізованій мікросхемі ШИМ контролера UC3844 (мал. 3.1.). Мікросхеми цієї серії є найпоширенішими в імпульсних блоках живлення побутової і комп'ютерної техніки, використовується для управління польовим ключовим транзистором в схемах імпульсних блоків живлення. Вони спеціально розроблені для DC-DC перетворювачів -

перетворення постійної напруги однієї величини в постійну напругу іншої величини. Вони надійні, мають не велику ціну, потребують малу кількість додаткових елементів.

Принциповою різницею між UC3844 та UC3842 у тому що робочий цикл першої максимально 50% (імпульс керування польовим транзистором максимально може приймати форму міандра, Duty Cycle = 50%), а отже ця мікросхема ідеальна для зворотньоходового перетворювача.



Мал.3.2 Частота та форма сигналів генератора коливань UC3844.

Для нашого випадку для отримання частоти 52кГц вибрано наступні номінали:

Згідно з графіком (Мал.3.2)  $R_4 = 3\text{кОм}$ , а  $C_9 = 10\text{нФ}$ .

Малюнок 3.3:

$R_{11}$  – датчик струму.

$R_{10}$ ,  $C_{14}$  – фільтр датчика струму.

$OC1$ ,  $R_6$ ,  $VD4$  – зворотній зв'язок по вихідній напрузі

$R_1$ ,  $C_4$ ,  $VD5$  – (RCD Snubber) ланцюг пригнічення викиду від індуктивності

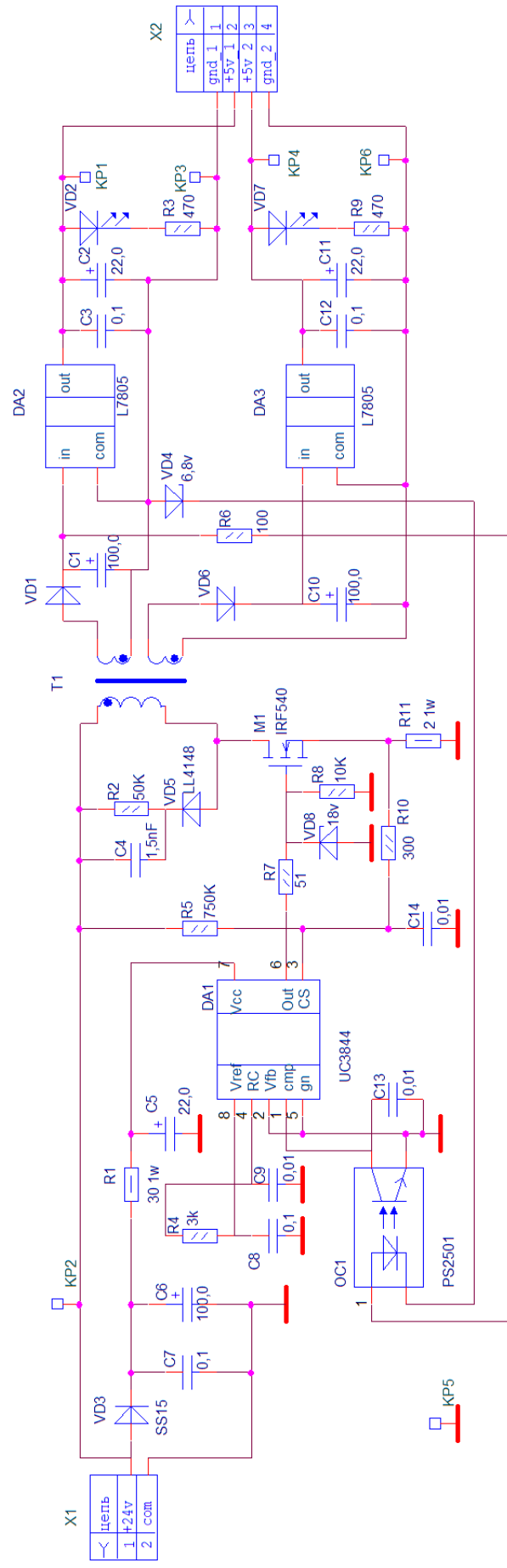
$R_7$  – резистор обмеження струму заряду ємності затвора транзистора

$VD8$  – обмежувальний стабілітрон напруги на затворі

$R_4$ ,  $C_9$  – елементи що задають частоту генератора мікросхеми

$VD1$ ,  $VD6$  – випрямляючі діоди Шотткі.





Мал.3.3 Схема принципова електрична блока живлення

### **3.2 Розрахунок трансформатора блока живлення.**

1. Визначаємо вихідну напругу і струми джерела живлення.

Блок живлення повинен забезпечити напругу 5В і струм 0,2А для живлення контролера, та напругу 5В і струм 1,5А для живлення датчиків.

2. Збільшуємо вихідну напругу на величину, падаючу на випрямних діодах . На випрямній діоді падає 0,3В (застосовано діод Шотткі). Також треба врахувати запас напруги для роботи параметричних стабілізаторів DA2 та DA3. Таким чином сумарна вихідна потужність буде:

$$\mathbf{P_{out} = 7 * 0,2 + 7 * 1,5 = 11,5 \text{ Вт.}}$$

3. Рахуємо сумарну вихідну потужність трансформатора. КПД блока живлення 80%. Розрахункова вхідна потужність блоку

$$\mathbf{P_{in} = P_{out} / 0.8}$$

$$\mathbf{P_{in} = 11.5 / 0,8 = 14,4 \text{ Вт.}}$$

4. Визначаємо частоту перетворення. Частоту перетворення обираємо з документації типову для мікросхеми 52 кГц.

5. Обчислюємо максимальну вхідну напругу, від якої нам доведеться працювати. Вхідна напруга блока живлення 24В +/- 20%. Таким чином максимальна напруга може бути

$$\mathbf{U_{max} = U * 1.2}$$

$$\mathbf{U_{max} = 24 * 1,2 = 29 \text{ В.}}$$

На цю напругу також має бути розрахований конденсатор вхідного фільтру (не менше 35В в даному випадку).

6. Обчислюємо мінімальну вхідну напругу, від якої нам доведеться працювати.

$$U_{min} = U * 0,8.$$

$$U_{min} = 24 * 0,8 = 19 \text{ В.}$$

7. Визначаємо максимальну зворотною напругу на ключі у найгіршому випадку роботи. Максимальний коефіцієнт заповнення D може бути 50%. (з документації на UC3844)

$$U_{inv} = U_{max} + U_{min} * D / (1 - D).$$

Звідки:

$$U_{inv} = 29 + 19 * 0,5 / (1 - 0,5) = 48 \text{ В.}$$

Таким чином транзистор силового ключа повинен витримувати зворотною напругу більше 48В. В нашому випадку IRF540 витримує 100В , що є достатньо.

8. Розраховуємо кількість енергії, яку необхідно передати у вторинну обмотку за один імпульс:

$$A_{imp} = P_{in} * 1s / F = P_{in} / F.$$

$$A_{imp} = 14,4 / 52000 = 277 \text{ мкДж.}$$

9. Вирішуємо систему рівнянь для найважчого режиму роботи:

$$A = L I_{max}^2 / 2,$$

$$U_{min} = L I_{max} * F / D,$$

Звідки

$$L = U_{min}^2 \cdot D^2 / (2 \cdot A_{imp} \cdot F^2)$$

$$I_{max} = U_{min} \cdot D / (L \cdot F)$$

$$L = 19^2 \cdot 0,5^2 / (2 \cdot 2,77 \cdot 10^{-4} \cdot 52 \cdot 10^3) = 6,02 \cdot 10^{-5} = 60,2 \text{ мкГн}$$

$$I_{max} = 19 \cdot 0,5 / (6,02 \cdot 10^{-5} \cdot 52 \cdot 10^3) = 3,03 \text{ А.}$$

Значення максимального струму первинної обмотки трансформатору приймаємо до уваги.

10. Виходячи з отриманого  $I_{max}$  вибираємо ключ. Максимальний струм польового MOSFET транзистора IRF540 є 33 А. що також є достатньо.

11. Виходячи з необхідної індуктивності первинної обмотки і максимального струму в ній, обираємо сердечник трансформатора, розраховуємо необхідний зазор і кількість витків первинної обмотки.

індуктивність обмотки по її габаритах:

$$L = (\mu_0 \cdot \mu_e \cdot S_e \cdot N^2) / l_e$$

Де  $\mu_0$  - абсолютна магнітна проникність вакууму,  $4 \pi \cdot 10^{-7}$ ,

$\mu_e$  – ефективна магнітна проникність сердечника

$S_e$  – ефективна площа перетину магнітопроводу,  $m^2$ .

$N$  – кількість витків

$l_e$  – довжина середньої магнітної лінії сердечника, м

Ефективна магнітна проникність сердечника із зазором:

$$\mu_e = l_e / g$$

де  $g$  – загальна товщина зазору, м.

Формула індуктивності обмотки на сердечнику із зазором:

$$L = (\mu_0 * S_e * N^2) / g.$$

Максимально допустимий струм через обмотку:

$$I_{\max} = (B_{\max} * g) / (\mu_0 * N)$$

12. Обираємо стандартний III образний сердечник з каркасом EF/20. В ньому використаний ферит марки N87. Він має: зазор 0,25мм, площу перерізу 32,1мм<sup>2</sup>, довжину середньої лінії 46,3мм.

13. Вираховуємо кількість витків первинної обмотки для забезпечення необхідної індуктивності.

$$N = \sqrt{\frac{L * g}{\mu_0 * S_e}}$$
$$N = \sqrt{\frac{60 \cdot 10^{-6} * 2,5 \cdot 10^{-4}}{1,26 \cdot 10^{-6} * 3,2 \cdot 10^{-5}}} = 19(\text{витків})$$

14. Перевіряємо максимальне значення щільності потоку магнітної індукції для феритових сердечників для уникнення випадків насичення магнітопроводу.

$$B_{\max} = I_{\max} * \mu_0 * N / g .$$

$$B_{\max} = 3,03 * 1,26 \cdot 10^{-4} * 20 / 2,5 \cdot 10^{-4} = 0,289 \text{ Т.}$$

Максимальне значення щільності потоку має бути менше 0,3Т (із специфікації фериту N87), що у даному разі виконується. Але бажано взяти додаткових заходів для захисту від насичення магнітопроводу і виходу з ладу силового ключа. Мікросхема UC3844 має для цього спеціальний вхід (current sensor) датчика струму силового ключа. Елементи R10, R11, C14 забезпечують його роботу.

Датчик струму потрібно налаштувати таким чином, щоб гарантувати нормальну роботу блоку при номінальному навантаженні і в той же час починати обмежувати струм при якомога меншому перенавантаженні.

$$R_{11} = U_{cs} / I_{max},$$

$U_{cs}$  – значення напруги при якому спрацьовую захист по струму

$$R_{11} = 0.9V / 3.03A = 0.29\Omega$$

15. вираховуємо кількість виткі вторинних обмоток.

$$N_2 = N * U_{out} / U_{inv}.$$

$$N_2 = 19 * 7 / 48 = 3 \text{ витки.}$$

### 3.3 Приблизний розрахунок теплових процесів

Приблизний розрахунок теплових процесів використаних для вимірювання швидкості потоку охолоджуючої рідини.

При нагріванні об'єкта зануреного в рідину, температура його поверхні буде визначатися законом Ньютона – Ріхмана (густина теплового потоку  $q$  пропорційна різниці між температурою оточення та температурою стінки):

$$q_c = \alpha (t_o - t_c).$$

де  $q_c$  – питома потужність нагрівача, відношення потужності до одиниці площі (називають - густина теплового потоку)

$\alpha$  - Коефіцієнт тепловіддачі

$t_o$  - температура оточення

$t_c$  - температура стінки

Коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha$  залежить від багатьох факторів, зокрема властивостей середовища і швидкості потоку. Ці параметри будуть отримані за допомогою датчика. Також, на величину  $\alpha$  впливають інші параметри, наприклад

форма і якість поверхні стінки і т.д. які також треба враховувати під час налаштуванні та калібруванні датчика.

Таким чином, маючи величину потужності підведену до нагрівача датчика, і знаючи різницю температури нагрітої стінки і рідини, є можливість оцінювати наявність охолоджуючої рідини, а також її швидкість.

Термозонд це конструкція що складається зі скоби ( $L = 18$  мм) виготовленої з мідного дроту діаметром 1,5 мм і мідної підкладки (10мм x 4,5мм x 0,4мм), які скріплені між собою пайкою. На підкладці термозонда встановлений цифровий термометр типу D18B20, крім того, він має нагрівач (SMD резистор номіналом 4,7 Ом) встановлений на підкладці проти термометра. Термозонд всередині муфти розміщений таким чином, що за її габарити виступає тільки частина скоби довжиною 10 мм. Порожнина муфти після фіксації необхідного положення термозондів і роз'єму заповнена епоксидним клеєм.

Приймаємо допущення:

1 – температурою стінки  $t_c$ , (в разі нагріву) буде врахована температура зафіксована цифровим термометром після подачі напруги на нагрівач, і деякою витримкою часу  $\tau_{\text{вмк}} = \tau_0$ , для завершення перехідних процесів.

2 – температурою рідини  $t_o$  (температурою оточення) буде врахована температура зафіксована цифровим термометром після зняття напруги з нагрівача, і витримки часу  $\tau_{\text{вимк}} = 10\tau_0$ ,

3 – величиною теплового опору між цифровим термометром, нагрівачем, і стінкою трубки нехтуємо.

Є два характерних випадку в роботі датчика потоку.

Датчик занурений у воду, поперечний рух рідини відсутній. У цьому випадку має місце «вільний рух рідини» зумовлений змінами щільності при нагріві, гравітацією, фізичними властивостями середовища. У нашому випадку, при незначних розмірах перерізу потоку, цими обставинам можна знехтувати.

Датчик занурений у воду, поперечний рух рідини номінальний. Формула для розрахунків:

$$Nu = (0,43 + C Re Pr) \varepsilon.$$

$$\overline{Nu} = C \cdot (Gr \cdot Pr)^n, (2-133)$$

$$\overline{Nu} = \frac{\bar{\alpha} l_0}{\lambda}$$

$$Gr = \frac{g \beta \Delta t l_0^3}{\nu^2}$$

$$Pr = \frac{\nu}{a}$$

$\overline{Nu}$  – число Нуссельта, коефіцієнт тепловіддачі.

$Gr$  – число Грасгофа, характеризує співвідношення процесів спричинених гравітаційною силою та сил міжмолекулярного тертя.

$Pr$  – число Прандтля, характеризує співвідношення інтенсивності перенесення енергії внутрішнім тертям та інтенсивності перенесення енергії теплопровідністю в потоці рідини.

Де  $\varepsilon=1$  поправка на попередню турбулізацію потоку.

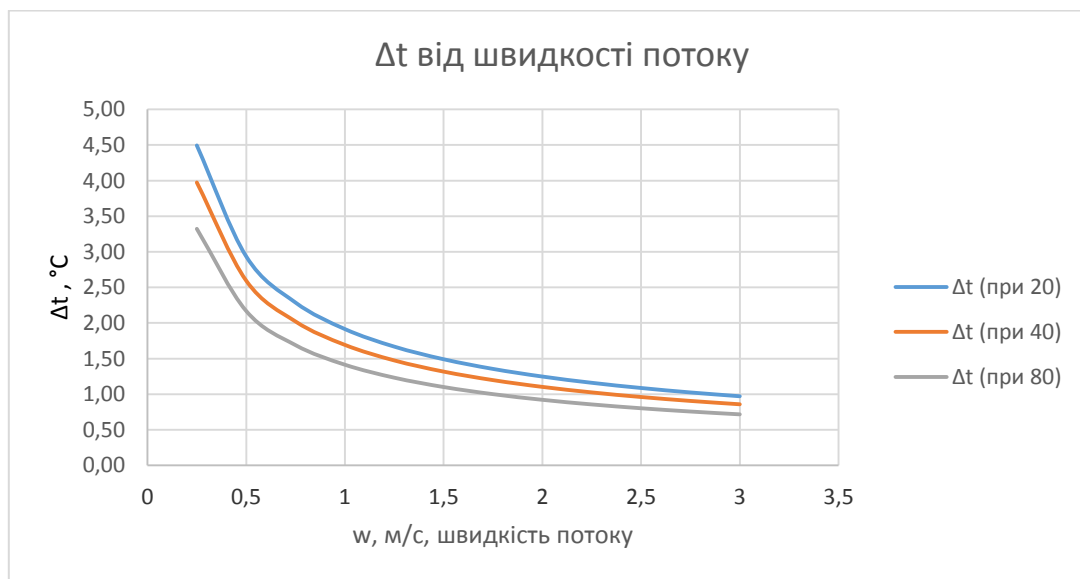
Фізичні значення сталих  $C$  і  $n$  із таблиці (2-32) довідника. Параметри тепловіддачі таблиця (2-17) довідника.

$$Re = \frac{\omega \cdot d}{\nu}$$

Користуючись наведеними формулами, будуємо графік залежності різниці температур (температура після нагріву – температура до нагріву) від швидкості потоку.

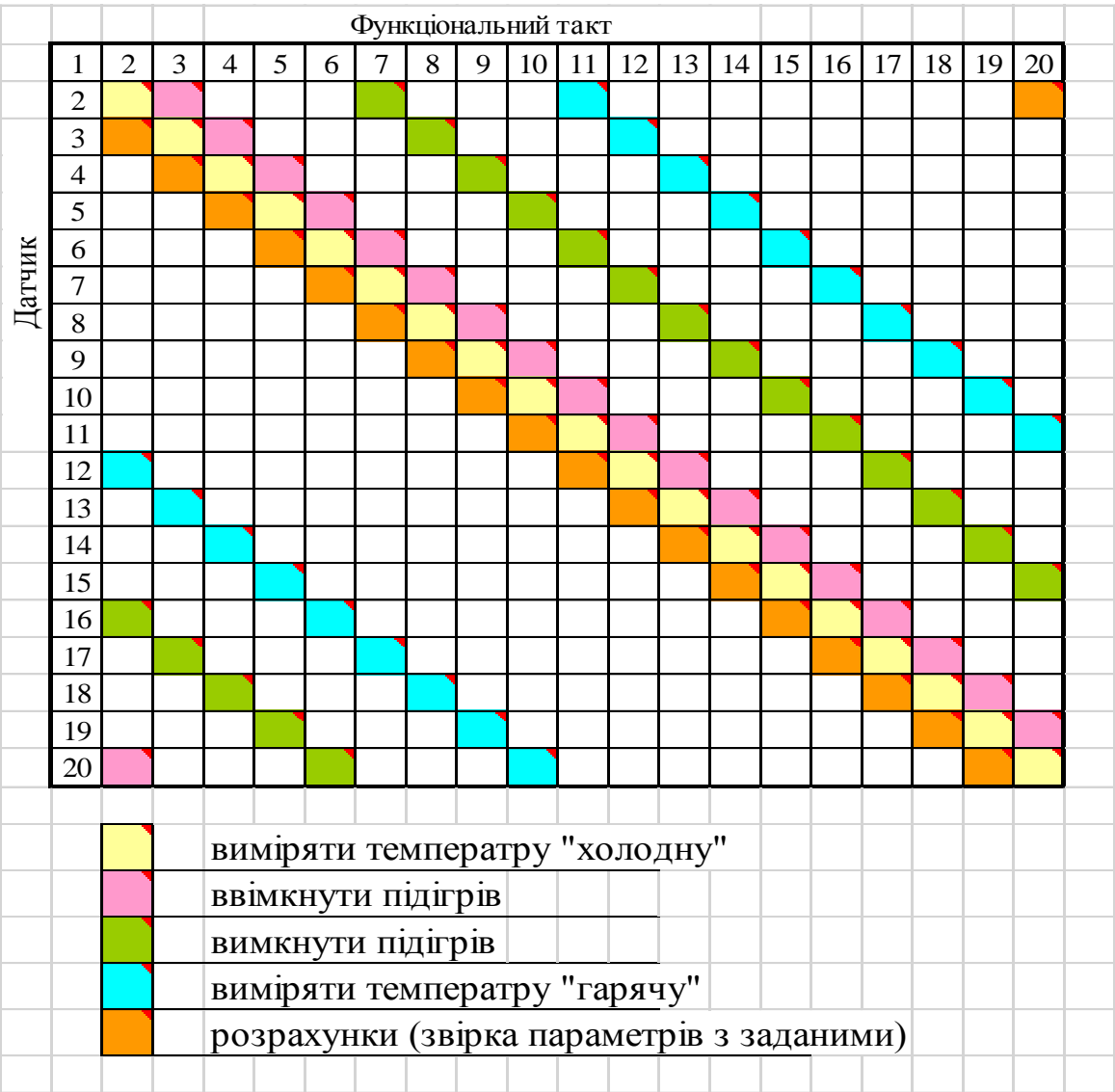


Швидкість потоку	w	1	1	1
Температура води	t	20	40	80
коеф	v	1,00E-06	6,59E-07	3,66E-07
теплопровідність	$\lambda$	0,60	0,63	0,67
діаметр	d	6,00E-03	6,00E-03	6,00E-03
Число Прайдля	Pr	7	4,3	2,25
конст таблична	c	0,20	0,20	0,20
конст таблична	m	0,62	0,62	0,62
кількість тепла	q	1,77E+04	1,77E+04	1,77E+04
Число Рейнольдса	Re	6,00E+03	9,10E+03	1,64E+04
Тепловіддача	Nu	92,6	99,6	112,1
коеф тепловіддачі	a	9,25E+03	1,05E+04	1,25E+04
Зміна температури	$\Delta t$	1,91	1,69	1,41



Відображаємо результати обчислення для різних швидкостей потоку рідини для трьох значень температур рідини, на графіку. Залежність  $\Delta t$  від температури урахувати при реалізації алгоритма.

### 3.2 Алгоритм роботи системи



## **ВИСНОВКИ**

Захист виробничого обладнання від виходу за рамки робочої температури є обов'язковою умовою стабільної роботи технологічного обладнання, зменшення частки браку продукції та ремонту чи заміни виробничого устаткування.

Одним з прикладів є контроль потоку охолоджуючої рідини в теплоємному процесі. Реєструється температура та сила потоку охолоджуючої рідини. При досягненні критичних значень зменшення швидкості потоку або при досягненні критично високих значень температури рідини, система повідомляє обслуговуючий персонал про можливі проблеми в охолоджуючій системі для уникнення перегріву обладнання та аварійних ситуацій.

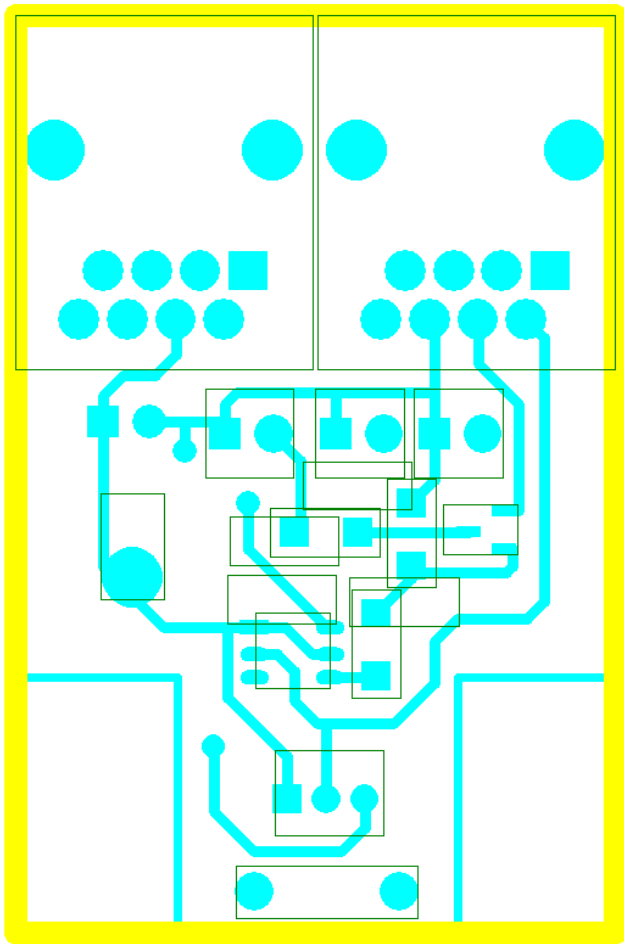
Дипломна робота присвячена розробці системи контролю потоку та температури на основі калориметричного принципу. Даний підхід ідеально підходить для контролю охолоджувальних систем теплоємних виробництв. Адже одним датчиком можна вимірювати і швидкість і температуру потоку.

В даній дипломній роботі представлено огляд існуючих датчиків швидкості потоку, обґрунтовано використання калориметричного принципу в системі. Розроблені схеми електричних принципів блоків системи контролю потоку та температури, на сучасній елементній базі. Представлено розрахунки та описано алгоритм роботи системи.

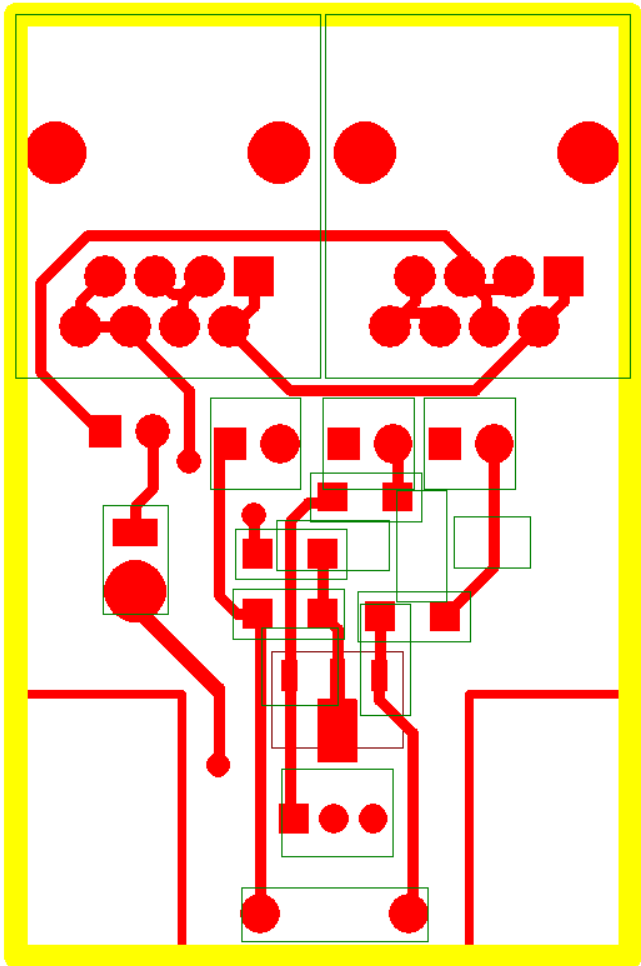
## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. А.К. Бабіченко, В.І. Тошинський, В.С. Михайлов, М.О. Подустов, О.В. Пугановский. Промислові засоби автоматизації. Ч. І. Вимірювальні пристрої / За заг. ред. А.К. Бабіченка: Навчальний посібник. – Харків: НТУ «ХПІ», 2001 р. – 470с.
2. STM32CubeMX User manual
3. STM32F429 Data Sheet
4. STM32F429 Reference manual
5. DS18B20 Data Sheet
6. DS2413 Data Sheet
7. ADuM1201 Data Sheet
8. UC3844 Data Sheet
9. Application note - LCD-TFT display controller (LTDC) on STM32 MCUs
- 10.<https://www.st.com/resource/en/>
- 11.<https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds>
- 12.<http://mikrotik.kpi.ua>
- 13.Теплотехнический справочник. Том 2. / Издание второе, переработанное. Под общей редакцией В.Н. Юренева и П.Д. Лебедева. «ЭНЕРГИЯ», Москва 1976 г.
- 14.Дмитрий Макашов. Обратногодовой преобразователь / 2005 г. – 46с.
- 15.Расчет трансформатора для обратноходового импульсного источника питания (Flyback) - <https://habr.com/ru/post/388313/>
- 16.<https://en.wikipedia.org>

[illegible]



Верхній шар



Нижній шар

					ЗБР6.050802.051.003							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Датчик Протоку  Друкована плата					Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.	Грабовський С.Д.											
Перевір.	Тугай С.Б.										1	1
Реценз.										НТУУ «КПІ», ФЕЛ,ДЕ-351		
Н. Контр.	Чадюк В.О.											
Затверд.	Писаренко Л.Д.											